



TESIS - TM 142501

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, GAYA GESEK, WAKTU
GESEK TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK, LAJU
KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO HASIL LASAN PROSES
LAS GESEK MATERIAL BERBEDA BAJA SUH 3 DAN SUH 35**

ALI SAI'IN
NRP 2114201003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



TESIS - TM 142501

**THE EFFECT OF ROTATION SPEED, FRICTION FORCE,
AND FRICTION TIME AGAINST HARDNESS, IMPACT
STRENGTH, CORROSION RATE AND MICRO STRUCTURE
OF FRICTION WELDING WELD METAL WITH DISSIMILAR
MATERIAL SUH 3 AND SUH 35**

ALI SAI'IN
NRP 2114201003

ADVISOR
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D

**MASTER PROGRAMME
FIELD STUDY OF ENGINEERING AND MANUFACTURING SYSTEM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

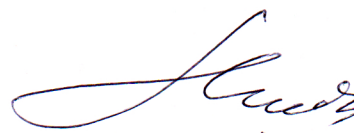
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Ali Sai'in
NRP. 2114201003

Tanggal Ujian: Rabu, 26 Oktober 2016
Periode Wisuda: Semester Ganjil 2016/2017

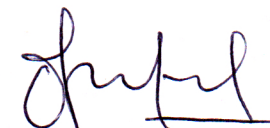
Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
NIP: 195204171979031002




(Pembimbing I)

2. Suwarno, S.T., M.Sc. Ph.D
NIP: 198005202005011003




(Pembimbing II)

3. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA
NIP: 195012111985021001




(Penguji)

4. Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T
NIP: 197407032000031001



(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 196012021987011001

**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, GAYA GESEK, WAKTU GESEK
TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK, LAJU KOROSI DAN
STRUKTUR MIKRO HASIL LASAN PROSES LAS GESEK MATERIAL
BERBEDA BAJA SUH 3 DAN SUH 35**

Nama Mahasiswa : Ali Sai'in
NRP : 2114201003
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.
Pembimbing II : Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Las gesek merupakan salah satu teknologi pengelasan yang digunakan untuk menyambung dua material tanpa menggunakan bahan pengisi. Penyatuan benda kerja dilakukan dengan memanfaatkan gesekan dan tekanan. Pengaturan parameter proses dalam las gesek ini seperti kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek, gaya tempa dan waktu tempa sangat menentukan keberhasilan proses pengelasan.

Penelitian dilakukan untuk mengamati pengaruh parameter proses, di antaranya kecepatan putar, gaya gesek, dan waktu gesek terhadap kekerasan, kekuatan impact, laju korosi dan struktur mikro pada material yang dilas dengan menggunakan las gesek. Material yang digunakan merupakan material yang mempunyai komposisi kimia yang berbeda, yaitu baja SUH 3 dan SUH 35. Pengelasan dilakukan dengan mesin las gesek tipe FW10NC. Pengujian hasil pengelasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *mikro vikres*, alat uji impact jenis *charpy*, alat uji laju korosi sel tiga elektroda dengan bantuan *software* NOVA 1.8. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*)-EDX

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada proses pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terjadi perubahan struktur mikro dan perubahan komposisi kimia pada daerah sambungan. Persentase Cr pada kecepatan putar 2500 rpm 14.99% sedangkan pada kecepatan putar 4500 menjadi sebesar 15.82%. Perubahan parameter proses dapat mengubah sifat mekanis dan laju korosi dari sambungan. Pengelasan pada kecepatan putar 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik mampu meningkatkan kekerasan dan kekuatan impact paling tinggi serta penurunan laju korosi paling rendah. Kekerasan pada daerah sambungan tercatat sebesar 54.8 HRC, dengan kekuatan impact sebesar 588.39 kJ/m², dan mampu menurunkan laju korosi sampai 0.051 mm/tahun.

Kata kunci: las gesek, kekerasan, kekuatan impact, laju korosi, struktur mikro.

Halaman ini sengaja dikosongkan

THE EFFECT OF ROTATION SPEED, FRICTION FORCE, AND FRICTION TIME AGAINST HARDNESS, IMPACT STRENGTH, CORROSION RATE AND MICRO STRUCTURE OF FRICTION WELDING WELD METAL WITH DISSIMILAR MATERIAL SUH 3 AND SUH 35

Student : Ali Sai'in
NRP : 2114201003
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc.
Advisor II : Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Friction welding is one of welding technology that used to join two materials without metal filler. Friction and pressure was utilized to join the material. Parameters setting of friction welding process like rotation speed, friction force, friction time, forging force and forging time are determining the successful rate of friction welding process.

The aim of this study is to observe the effect of turning speed, friction force, and friction time against hardness, impact strength, corrosion rate and microstructure on weld metal under friction welding process. The material used in this study is a material that has a different chemical composition, which is SUH 3 and SUH 35. Welding process was done with friction welding machine FW10NC type. Micro vickers tester was used to examined hardness value, whereas impact test was examined using charpymethode, corrosion rate analyzed with three-electrode cell test equipment with NOVA 1.8 software, while microstructure observation using optical microscope and scanning electron microscope (SEM).

The result of this study shown that there were micro structure and chemical composition change at weld metal during welding process SUH 3 and SUH 35 Steel. Cr percentage is 14.99% at 2500 rpm while increases to 15.82% at 450 rpm. Change of process parameter can change mechanical properties and corrosion rate at the joint zone. the Welding process at 4500 rpm, friction force 10 kN and friction time at 1 second can maximize hardness and impact force while still minimize the corrosion rate. Hardness value at joint zone is 54.8 HRC, the friction force is 588.39 kJ/m² and can minimize corrosion rate until 0.051 mm/year.

Key Word: friction welding, hardness, impact force, corrosion rate, microstructure.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan untuk dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini. Tesis dengan judul **“PENGARUH KECEPATAN PUTAR, GAYA GESEK, WAKTU GESEK TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK, LAJU KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO HASIL LASAN PROSES LAS GESEK MATERIAL BERBEDA BAJA SUH 3 DAN SUH 35”** disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak atas segala bantuan dan dorongan serta dedikasinya yang telah membantu penyusunan Tesis ini hingga selesai. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr-Eng. Prabowo, M-Eng. Sebagai Kaprodi S2/S3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc. sebagai dosen pembimbing pertama.
3. Bapak Suwarno, S.T., M.Sc., P.hD. sebagai dosen pembimbing kedua.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA. dan Bapak Dr-Eng. Sutikno, S.T., M.T. sebagai dosen penguji seminar tesis.
5. Bapak H. Saepan, ibu Hj. Masri dan kakak-kakakku (Ali Mas’ud dan Ali Makrus), yang telah banyak memberikan dukungan dan semangat serta doa restunya kepada penulis agar dapat menyelesaikan program studi pascasarjana S2 di ITS.
6. Seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin yang selalu memberi atmosfer kampus yang menyenangkan.
7. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Program Pascasarjana ITS.
8. Teman-teman kuliah S2 Rekayasa dan Sistem Manufaktur Mas Zaki, Bang Balkaya, Bang Haffis, Mas Idiar, Mas Abid, Mbak Anty, Bang Theny,

Ayah/Pak Ben, Bang Sufi, Bang Anhar Pulungan atas segala bantuan dan dukungannya.

9. Teman-teman Lab. Metalurgi Manufaktur Teknik Mesin–ITS.

10. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata penulis berharap semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan khususnya di bidang proses pengelasan dengan metode las gesek. Aamiin.

Surabaya, 26 Oktober 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Garis besar rencana penelitian	3
1.3 Rumusan masalah.....	3
1.4 Tujuan penelitian.....	3
1.5 Batasan masalah dan asumsi	4
1.6 Manfaat penelitian.....	4
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Proses pengelasan.....	5
2.1.1 Pengelasan dengan peleburan	5
2.1.1 Pengelasan dengan kondisi padat.....	5
2.2 Las gesek.....	5
2.2.1 Mekanisme penyambungan las gesek	6
2.2.2 Variabel-variabel proses pada las gesek	6
2.3 Korosi.....	7
2.3.1 Pengertian dan jenis korosi	7
2.3.2 Potensiostat	7
2.4 Penelitian pendahuluan	9
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahapan penelitian	13
3.2 Variabel-variabel penelitian	15
3.3 Persiapan material	16
3.4 Proses pengelasan.....	17
3.5 Pengambilan data respon.....	18
3.5.1 Pengujian kekerasan.....	18
3.5.2 Pengujian impak.....	19
3.5.3 Pengujian laju korosi.....	20
3.5.4 Pengamatan struktur mikro	21
3.5.4.1 Mikroskop optik.....	21
3.5.4.2 <i>Scanning electron microscope</i>	22

3.6 Rancangan eksperimen	23
3.6 Harapan penelitian	24
BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengamatan struktur mikro	25
4.1.1 Pengamatan mikroskop optik	26
4.1.2 Pengamatan <i>Scanning Elektron Microscopy</i> -EDX	27
4.1.2.1 Pengamatan <i>Scanning Elektron Microscopy</i> -EDX	
Hasil Pengelasan pada Kecepatan Putar 2500 rpm	27
4.1.2.2 Pengamatan <i>Scanning Elektron Microscopy</i> -EDX	
Hasil Pengelasan pada Kecepatan Putar 4500 rpm	30
4.2 Data hasil pengujian	32
4.2.1 Hasil pengujian kekerasan	33
4.2.2 Hasil pengujian impak	37
4.2.3 Hasil pengujian korosi	39
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN-LAMPIRAN	49
BIOGRAFI PENULIS	67

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Skema langkah-langkah dasar dalam proses las gesek.	6
Gambar 2.2 Rangkaian potensiostat dengan tiga elektroda	8
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3.2 Mesin las gesek	17
Gambar 3.3 Layar monitor hasil pengukuran proses pengelasan	17
Gambar 3.4 Spesimen uji kekerasan	18
Gambar 3.5 Alat pengujian kekerasan	19
Gambar 3.6 Spesimen untuk uji impak	19
Gambar 3.7 Alat uji impak.....	20
Gambar 3.8 Spesimen uji laju korosi	21
Gambar 3.9 Alat uji laju korosi.....	21
Gambar 3.10 Mikroskop optik	22
Gambar 3.11 <i>Scanning electron microscope</i>	23
Gambar 4.1 Struktur mikro material induk baja SUH 3 dan SUH 35.....	26
Gambar 4.2 Struktur mikro pada sambungan SUH 3 dan SUH 35.....	26
Gambar 4.3 Bentuk cincin hasil las gesek baja SUH 3 dan SUH 35	27
Gambar 4.4 Karakterisasi unsur logam Cr pada pengujian SEM-EDX.....	28
Gambar 4.5 Persentase unsur logam pada daerah sambungan kecepatan putar 2500 rpm	28
Gambar 4.6 Persentase unsur logam pada daerah sambungan kecepatan putar 4500 rpm	30
Gambar 4.7 Grafik pengujian kekerasan terhadap variasi kecepatan putar	34
Gambar 4.8 Grafik pengujian kekerasan terhadap variasi gaya gesek.....	35
Gambar 4.9 Grafik pengujian kekerasan terhadap variasi waktu gesek	36
Gambar 4.10 Grafik hasil uji impak terhadap variasi kecepatan putar	37
Gambar 4.11 Grafik hasil uji impak terhadap variasi gaya gesek.....	38
Gambar 4.12 Grafik hasil uji impak terhadap variasi waktu gesek	38
Gambar 4.13 Grafik polarisasi pengujian laju korosi baja SUH 3.....	40
Gambar 4.14 Grafik polarisasi pengujian laju korosi baja SUH 35.....	41
Gambar 4.15 Laju korosi sebagai fungsi kecepatan putar	42
Gambar 4.16 Laju korosi sebagai fungsi gaya gesek.....	42
Gambar 4.17 Laju korosi sebagai fungsi waktu gesek.....	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Tabel penelitian terdahulu	10
Tabel 3.1 Komposisi kimia material	16
Tabel 3.2 Rancangan eksperimen.....	23
Tabel 4.1 Persentase unsur logam pada sambungan kecepatan putar 2500 rpm	29
Tabel 4.2 Persentase unsur di material induk SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm	30
Tabel 4.3 Persentase unsur logam pada sambungan kecepatan putar 4500 rpm	31
Tabel 4.4 Persentase unsur di material induk SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan pada kecepatan putar 4500 rpm	32
Tabel 4.5 Hasil pengujian.....	33

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan industri manufaktur, teknologi pengelasan juga mengalami perkembangan sangat baik. Teknologi tersebut berkembang karena tuntutan dari industri-industri yang menggunakan las sebagai metode untuk menyambung logam.

Berdasarkan pada cara terjadinya penyambungan pada pengelasan, proses pengelasan dibagi menjadi dua metode, pengelasan fusi dan pengelasan kondisi padat. Pengelasan fusi adalah proses penggabungan material yang menggunakan peleburan dari sebagian material induk untuk membuat sambungan las. Pengelasan dalam kondisi fusi yang banyak dikenal adalah *Shielded metal arc welding* (SMAW), *tungsten insert gas* (TIG), *metal insert gas* (MIG) dan las oksiasitelin. Sedangkan pengelasan kondisi padat adalah proses penyambungan material dengan temperatur di bawah titik lebur material. Salah satu jenis pengelasan kondisi padat yang paling sering digunakan hingga saat ini adalah *friction welding* atau las gesek.

Las gesek merupakan salah satu teknologi pengelasan yang digunakan untuk menyambung dua material tanpa peleburan material. Proses pengelasan dilakukan dengan memanfaatkan gesekan untuk menghasilkan panas dan tekanan untuk menghasilkan penyambungan.

Aplikasi penyambungan dengan menggunakan las gesek seringkali digunakan pada penyambungan material yang berbentuk silinder dan mempunyai diameter kecil. Las gesek umumnya digunakan dalam industri mobil, untuk menyambung as, komponen bak persneling, kolom kemudi dan penyambungan material *engine valve*. Metode las gesek ini akan lebih mudah untuk menyambung material yang sulit dilas dengan proses las busur, dimana pada proses las busur panas yang dihasilkan tidak merata pada seluruh permukaan material sehingga sambungan yang dihasilkan kurang baik dari segi kekuatan mekanik hasil lasan.

Hingga saat ini para peneliti telah melakukan penelitian tentang las gesek untuk memahami proses las gesek dengan lebih baik lagi. Salah satu penelitian yang telah dilakukan untuk mempelajari lebih jauh tentang las gesek ini adalah penelitian dengan judul “*Effect of Process Parameters on The Microstructure And Mechanical Properties of Friction Welded Joints of AISI 1040/AISI 304L Steels*” yang dilakukan Kirik dkk (2014). Variabel proses yang divariasikan dalam penelitian ini adalah putaran spindle, gaya gesek, waktu gesek dan gaya *upset*, dengan pengamatan terhadap respon kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro. Penelitian ini menghasilkan informasi bahwa kekuatan tarik paling tinggi terjadi pada daerah di dekat material induk AISI 1040, pada putaran 1700 rpm dengan tekanan 50 MPa, dan waktu 4 detik. Nilai kekerasan tertinggi ditemukan pada daerah sambungan. Pada pengamatan struktur mikro terjadi penurunan ukuran butiran di daerah *deformation zone* (DZ) pada kedua material.

Penelitian yang lain adalah penelitian yang dilakukan oleh Sigied dkk (2012) yang berjudul “Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon AISI 1045”. Respon yang diamati dalam penelitian ini adalah kekerasan sambungan, kekuatan impak dan struktur mikro. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sambungan lasan material AISI 1045 memiliki kekuatan impak semakin meningkat seiring dengan penambahan tekanan gesek dan tekanan tempa. Daerah sambungan menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi dibanding dengan material induk, sedangkan struktur mikro pada material induk tidak terjadi banyak perubahan. Daerah HAZ yang dekat dengan *weld metal* memperlihatkan struktur mikro berupa ferrit dan pearlit dengan dominasi pearlit kasar.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Shubhavardhan dkk (2012), dengan judul “*Friction welding to join dissimilar metal*”. Material yang disambung AISI 304 austenitic stainless steel dan AA6082 aluminium alloy. Parameter proses yang divariasikan adalah gaya gesek dan waktu gesek dengan respon yang diamati adalah kekuatan tarik dan kekerasan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya gaya gesek dan waktu gesek sampai nilai tertentu, saat mencapai titik optimum. Kekuatan tarik akan menurun dengan penambahan nilai gaya gesek dan waktu gesek lebih lanjut. Sedangkan

kekerasan kedua material di sekitar daerah las lebih besar dari pada material induknya.

1.2 Garis Besar Rencana Penelitian

Dalam penelitian ini akan disambung dua buah baja yang berbeda jenis yaitu baja SUH 3 dan SUH 35 dengan menggunakan mesin las gesek. Baja SUH 3 mempunyai nilai kekerasan kisaran 30-35 HRC, sedangkan baja SUH 35 mempunyai nilai kekerasan pada kisaran 35-40 HRC. Penyambungan kedua material tersebut bertujuan untuk mendapatkan kekuatan mekanik yang baik ditinjau dari kekerasan, dan ketangguhan material hasil sambungan.

Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek pada proses penyambungan material SUH 3 dan SUH 35 terhadap kekerasan, kekuatan impak, laju korosi dan struktur mikro pada daerah sambungan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan garis besar rencana penelitian yang telah dituliskan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan struktur mikro hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.
2. Bagaimana perubahan komposisi kimia di Daerah sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm.
3. Bagaimana pengaruh kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang ada, maka ditetapkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan struktur mikro hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.

2. Mengetahui perbedaan komposisi kimia di Daerah sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm.
3. Mengetahui pengaruh kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.

1.5 Batasan Masalah dan Asumsi

Supaya penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Waktu tempa dibuat konstan yaitu selama 1 detik.
2. Gaya tempa dibuat konstan sebesar 16 kN.
3. Pengelasan dilakukan pada material SUH 3 dan SUH 35 dengan diameter 7,45 mm.

Beberapa asumsi yang ditetapkan pada penelitian ini adalah:

1. Mesin las gesek yang digunakan dalam kondisi baik selama proses pengelasan.
2. Material yang digunakan bersifat homogen.
3. Alat uji dan alat ukur yang digunakan dalam kondisi baik.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenis dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi las gesek.
2. Menambah pengetahuan tentang teknologi las gesek.
3. Sebagai masukan pada industri yang menggunakan las gesek sebagai proses penyambungan logam.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Proses Pengelasan

Proses pengelasan merupakan penyatuan dua material logam yang dihasilkan melalui pemanasan material dengan menggunakan material pengisi ataupun tidak. Sesuai dengan temperatur pengelasan, dikenal pengelasan dengan peleburan dan pengelasan dalam keadaan padat.

2.1.1 Pengelasan Dengan Peleburan

Pengelasan dengan peleburan adalah metode penyambungan material dengan cara meleburkan sebagian dari kedua material induk, seringkali dengan pemberian bahan pengisi (*filler metal*). Beberapa proses pengelasan dengan peleburan yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Pengelasan gas: las oksiasitelin.
- b. Pengelasan busur: *Shielded metal arc welding* (SMAW), *gas tungsten arc welding* (GTAW), *gas metal arc welding* (GMAW), dan *plasma arc welding* (PAW).

2.1.2 Pengelasan Dengan Kondisi Padat.

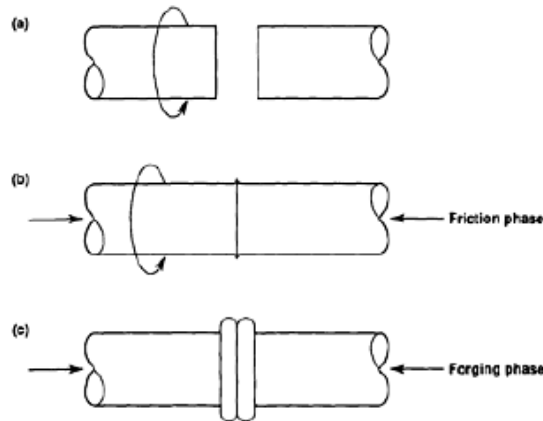
Pengelasan kondisi padat merupakan proses pengelasan yang dilakukan di bawah temperatur titik lebur material. Pengelasan dilakukan tanpa menggunakan material pengisi. Las gesek merupakan salah satu dari jenis pengelasan dalam kondisi padat.

2.2 Las Gesek

Las gesek merupakan suatu metode pengelasan dalam kondisi padat yang dilakukan dengan menggesekkan suatu benda yang berputar relatif terhadap benda yang lain. Sambungan diperoleh dengan memberikan tekanan dalam waktu tertentu pada permukaan kontak antar dua buah benda kerja yang sudah mencapai temperatur penyatuan.

2.2.1 Mekanisme Penyambungan Las Gesek

Pada pengelasan gesek sumber panas yang dihasilkan berasal dari gesekan material yang disambung. Adapun parameter yang bisa diatur langsung dalam proses pengelasan ini di antaranya adalah kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek, gaya tempa dan waktu tempa.



Gambar 2.1 Skema Langkah-Langkah Dasar dalam Proses Las Gesek. (a) Tahap Persiapan, (b) Tahap Gesek, (c) Tahap Tempa. (ASM Handbook Volume 6)

Gambar 2.1 menunjukkan parameter proses yang bekerja dalam proses las gesek. Gambar 2.1 (a) merupakan tahap persiapan. Pada tahapan ini salah satu material berputar dan material lainnya tidak berputar. Proses dilanjutkan dengan tahap gesek seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b). Pada tahap ini material dikontakkan satu terhadap yang lain dengan pemberian gaya aksial. Tahap tempa pada Gambar 2.1 (c) merupakan tahap akhir dimana material yang berputar dihentikan dan diberi gaya tempa.

2.2.3 Variabel-variabel Proses Pada Las Gesek

Variabel-variabel proses pengelasan pada mesin las gesek dideskripsikan sebagai berikut :

1. Kecepatan putar (v)

Kecepatan putaran adalah kecepatan putar spindel yang mencekam benda kerja saat proses pengelasan berlangsung. Pada proses las gesek putaran hanya dilakukan pada salah satu benda kerja, sementara benda kerja yang lain dalam kondisi tidak berputar.

2. Gaya gesek (F_1)

Gaya gesek adalah gaya yang bekerja selama kedua benda kerja saling bersentuhan dan salah satu benda kerja berputar akibat pengaturan kecepatan putaran spindel. Gaya gesek diberikan pada salah satu benda kerja yang tidak berputar.

3. Waktu gesek (T_1)

Waktu gesek adalah waktu yang menunjukkan lamanya gaya gesek bekerja pada proses las gesek.

4. Gaya tempa (F_2)

Gaya tempa adalah gaya yang bekerja sesaat setelah gaya tempa dan putaran spindel berhenti.

5. Waktu tempa (T_2)

Waktu tempa adalah waktu yang menunjukkan lamanya gaya tempa bekerja pada proses las gesek.

2.3 Korosi

2.3.1 Pengertian dan Jenis Korosi

Korosi adalah perusakan logam karena adanya reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud bisa berupa larutan asam, air, dan uap air. Perusakan logam yang dimaksud adalah berkurangnya nilai logam baik dari segi ekonomis, maupun teknis. Korosi seringkali disertai dengan terbentuknya suatu produk korosi seperti kerak di permukaan logam yang biasanya menunjukkan warna yang berbeda dari logam dasar.

Terdapat berbagai jenis korosi, antara lain korosi merata atau permukaan, korosi galvanik, korosi celah, korosi sumuran, korosi intergranular, korosi selektif, korosi erosi, dan korosi tegangan (Fontana, 1987).

2.3.2 Potensiostat

Potensiostat dengan tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan yang merupakan

kesempurnaan dari sel korosi basah (Trethewey, 1991). Gambar 2.2 menunjukkan contoh rangkaian pada peralatan tersebut. Tiga elektroda yang bekerja dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Elektroda kerja (*working electrode*)

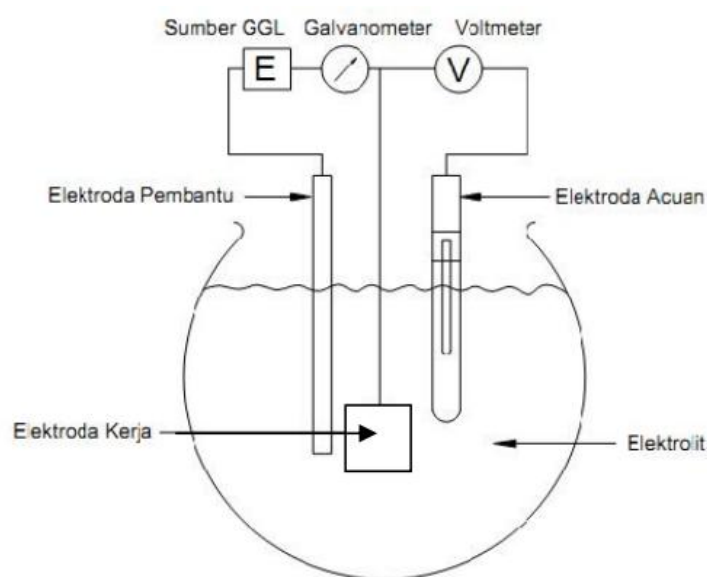
Elektroda kerja (*working electrode*) merupakan istilah yang dipakai untuk menggantikan elektroda yang sedang diteliti. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan cara memasang sebuah spesimen dalam resin, dan disambung dengan kawat tembaga untuk menghubungkan arus listrik.

2. Elektroda pembantu (*counter electrode*)

Elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian, akan tetapi elektroda pembantu tidak dapat digunakan untuk pengukuran potensial. Bahan dari elektroda pembantu ini biasanya menggunakan batang karbon, selain batang karbon bisa juga menggunakan platina dan emas.

3. Elektroda acuan

Elektroda acuan merupakan titik dasar untuk mengacu pengukuran elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus kecil bila tidak bila tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel, sehingga potensialnya tidak lagi konstan.



Gambar 2.2 Rangkaian potensiostat dengan tiga elektroda (Trethewey, 1991)

Polarisasi terjadi ketika suatu logam tidak berada dalam keseimbangan dengan larutan yang mengandung ion, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas (Trethewey, 1991). Polarisasi merupakan fenomena dalam korosi yang bisa dimanfaatkan untuk menentukan laju korosi logam.

Laju korosi dapat diartikan sebagai laju penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Salah satu langkah yang dapat digunakan untuk menghitung laju korosi adalah dengan memanfaatkan metode berdasar prinsip-prinsip elektrokimia. Metode elektrokimia merupakan metode yang digunakan untuk mencari nilai laju korosi. Rumus yang digunakan dalam menentukan laju korosi dengan metode elektrokimia didasari dengan hukum Faraday melalui persamaan 2.1.

$$CR = \frac{0.00327 I EW}{D} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: CR = Laju korosi (mm/year)

I = Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

EW = Berat *equivalent* (gram/mol)

D = Densitas material (gram/cm^3)

2.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian tentang las gesek sudah pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, baik penelitian mengamati fenomena atau mengoptimalkan parameter proses. Tabel 2.1 merupakan rangkuman beberapa penelitian terdahulu terkait las gesek.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama, (tahun)	Material	Variabel proses	Variabel Respon	Hasil
1	Ihsan Kirik, dkk (2014)	AISI 1040 dan AISI 304L	Putaran spindle Gaya gesek Gayatempa Waktu gesek	Kekuatan tarik Kekerasan Temperatur	Terjadi penurunan ukuran butiran di daerah <i>deformation zone</i> (DZ) pada ke dua material. Pengamatan menggunakan SEM dan EDS meunjukkan bahwa terjadi transisi material pada <i>weld zone</i> . Kekuatan tarik paling tinggi dan kekerasan mikro paling rendah terjadi pada daerah di dekat material induk AISI 1040, yaitu pada paramater proses putaran 1700 rpm, P1 50 MPa, dan T1 4 detik.
2	Al Faizal., dkk (2014)	Al 6063-T6	Putaran spindle	Kekuatan tarik Kekerasan	Area sambungan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu <i>center of weld</i> (pusat las) dan HAZ pada sisi material induknya. Sedangkan area pusat las memiliki butiran halus karena rekristalisasi dinamis. Pada area pusat las memiliki kekerasan dan kekuatan tarik paling tinggi. Kekerasan maksimum yang dicapai adalah sebesar 79 BHN, didapatkan dengan kecepatan putaran 1200 rpm.
3	Sigied Prasetyono dan Ir. Hari Subiyanto. M.Sc (2012)	AISI 1045	Tekan gesek Tekan tempa Durasi gesek	Kekuatan impak Kekerasan Struktur mikro	Sambungan lasan material AISI 1045 memiliki kekuatan impak yang semakin meningkat seiring dengan penambahan tekanan gesek dan tekanan tempa, sehingga dapat membuat ikatan sambungan lebih baik. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah <i>weld metal</i> , sedangkan kekerasan terendah terdapat pada daerah <i>base metal</i> yaitu dengan nilai 296 HV, dan 246 HV. Hal ini disebabkan karena daerah sambungan mendapatkan input panas yang paling tinggi dan

Tabel 2.1 Lanjutan

					pada saat pendinginan ukuran butir yang terbentuk kecil. Struktur mikro pada <i>base metal</i> tidak terjadi banyak perubahan, sedangkan untuk daerah HAZ yang dekat dengan <i>weld metal</i> struktur mikronya berupa ferrit dan pearlit dengan dominasi perlit <i>grain size</i> kasar. Untuk <i>weld metal</i> sendiri struktur mikronya berupa ferrit dan pearlit halus. perubahan yang terlihat adalah banyak terdapat perlit sehingga akan menaikkan kekerasan dan kekuatan dengan semakin baiknya ikatan pada sambungan.
4	Shubhavardhan R.N. pdkk (2012)	AISI 304 austenitic stainless steel dan AA6082 aluminum alloy	Gaya gesek Waktu gesek	Kekuatan tarik Kekerasan	Kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya gaya gesek dan waktu gesek sampai nilai tertentu, saat mencapai titik optimum. Kekuatan tarik akan menurun dengan penambahan nilai gaya gesek dan waktu gesek lebih lanjut. Kekerasan kedua material di sekitar daerah las lebih besar dari pada material induknya.

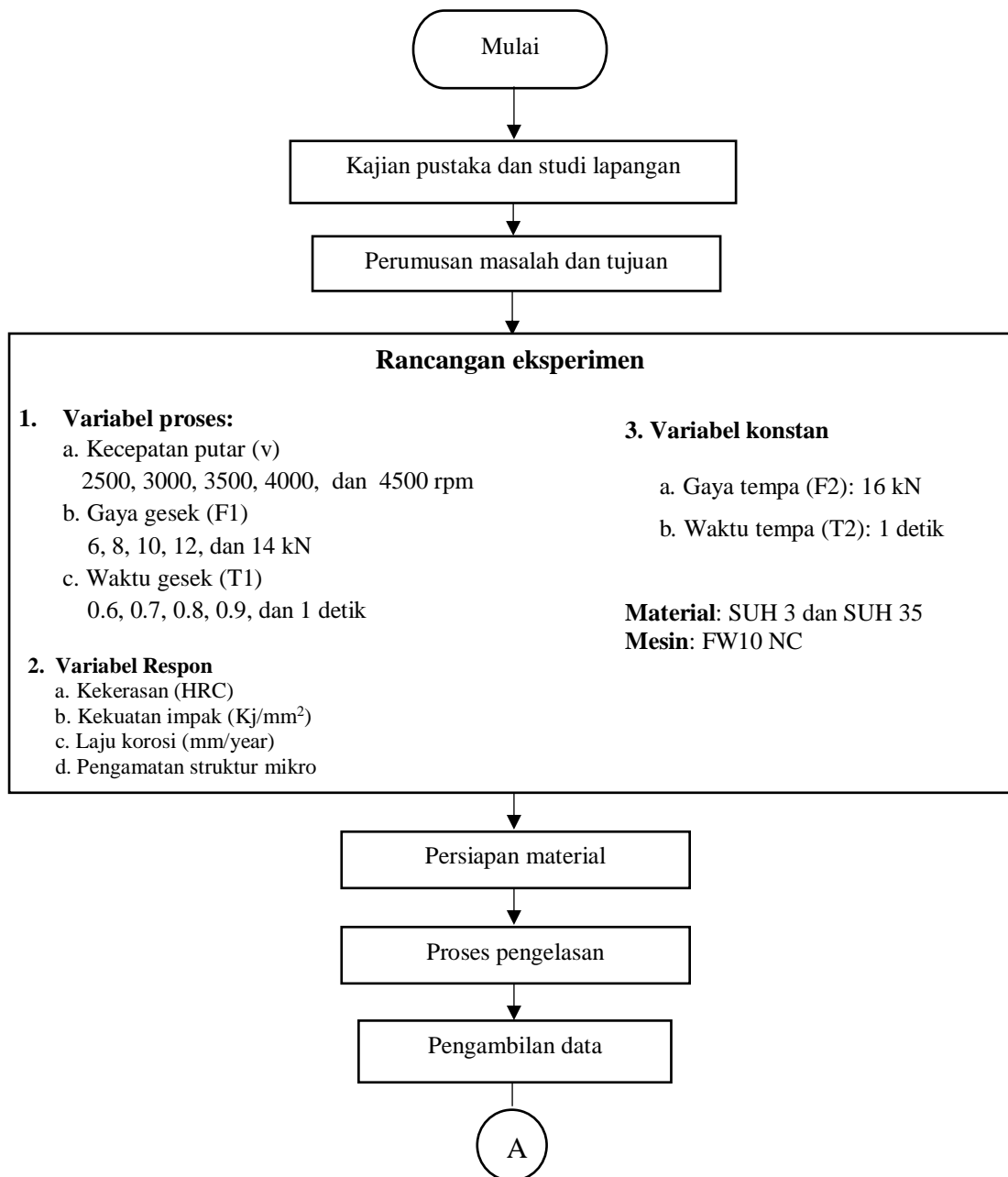
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

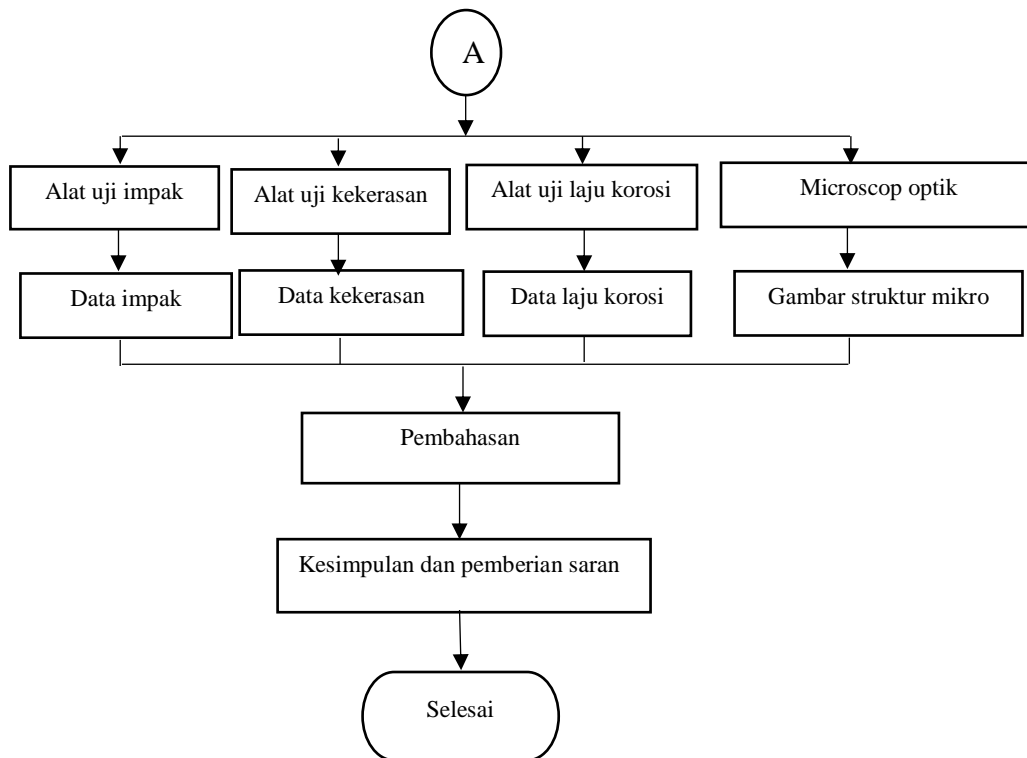
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pengerjaan penelitian ini mengikuti diagram alir seperti tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian (lanjutan)

Untuk mempermudah memahami diagram alir proses penelitian dijelaskan sebagai berikut.

1. Kajian pustaka dan studi lapangan

Tahapan awal sebelum melakukan penelitian adalah melakukan kajian pustaka dari berbagai jurnal dan buku tentang las gesek serta mempelajari parameter-parameter mesin tersebut.

2. Perumusan masalah dan tujuan

Setelah mempelajari berbagai parameter yang berpengaruh terhadap proses pengelasan maka ditetapkan rumusan masalah dan tujuan penelitian tentang pengaruh parameter proses terhadap kekerasan, kekuatan dampak, laju korosi dan struktur mikro pada daerah sambungan.

3. Rancangan eksperimen

Pada rancangan eksperimen ditetapkan variabel proses yang divariasikan dan variabel yang dijaga konstan.

4. Persiapan material

Material yang digunakan adalah baja SUH 3 dan SUH 35 yang merupakan jenis baja tahan panas dalam standar JIS. Material tersebut dipotong dengan ukuran 82 mm dan 209 mm.

5. Proses pengelasan

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan alat las gesek FW10 NC yang dilakukan di PT FNI Cikarang Jawa Barat.

6. Pengambilan data

Setelah proses pengelasan dengan memvariasikan variabel proses selesai, maka dilakukan pengambilan data kekerasan, kekuatan impak, laju korosi dan pengamatan struktur mikro.

7. Pembahasan

Data yang telah dihasilkan kemudian dibahas dengan cara menampilkan grafik kekerasan, kekuatan impak, laju korosi dan gambar hasil struktur mikro. Interpretasi grafik dilakukan pada masing-masing respon, dan dilanjutkan dengan penjelasan tentang fenomena yang terjadi.

8. Penarikan kesimpulan dan pemberian saran

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian, serta pemberian saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

3.2 Variabel-variabel Penelitian

Pada penelitian ini data yang diperoleh merupakan data primer dari hasil eksperimen. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel proses

Variabel proses merupakan variabel yang dapat dikendalikan dan nilai levelnya dapat ditetapkan oleh peneliti. Dalam menentukan nilai variabel peneliti mendapatkan pertimbangan dari penelitian terdahulu, informasi dari jurnal dan pengalaman perusahaan. Adapun variabel proses dalam penelitian ini adalah kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek.

2. Variabel respon

Variabel respon merupakan nilai yang didapatkan dari hasil pengamatan dan pengujian dan dipengaruhi dari penentuan dari variabel proses. Adapun variabel respon dalam penelitian ini adalah nilai kekerasan, kekuatan impak, laju korosi dan pengamatan struktur mikro.

3. Variabel konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang nilainya dijaga agar tetap konstan agar tidak berpengaruh terhadap respon selama proses berlangsung. Variabel konstan pada penelitian ini adalah gaya tempa dan waktu tempa.

3.3 Persiapan Material

Material benda kerja yang diamati pada proses las gesek adalah baja SUH 3 dan baja SUH 35. Baja SUH 3 dan SUH 35 berbentuk silindris dengan diameter 7.45 mm dipotong masing-masing dengan panjang 82 mm dan 209 mm. Beberapa informasi awal tentang material tersebut didapat dari sertifikat material yaitu:

- Baja SUH 3 dengan nilai kekerasan 30-35 HRC dan *tensile strength* 93 kgf/mm² (912 MPa).
- Baja SUH 35 dengan nilai kekerasan material 35-40 HRC dan *tensile strength* 88 kgf/mm² (863 MPa).

Komposisi kimia kedua baja tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1 komposisi kimia material

Jenis Material	Komposisi Kimia (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Cu	Mo
SUH 3	0.42	1.89	0.28	0.25	0.009	0.27	10.14	-	0.12	0.71
SUH 35	0.56	0.20	8.52	0.026	0.001	3.71	21.13	0.42	-	-

Sumber: Sertifikat material SUH 3 dan SUH 35

3.4 Proses Pengelasan

Untuk melakukan proses las gesek, material baja SUH 3 diposisikan pada pencekam yang tidak berputar, sedangkan baja SUH 35 diletakkan pada pencekam yang berputar. Gambar 3.2 menunjukkan gambar mesin yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 3.2 Mesin Las Gesek

Langkah selanjutnya adalah proses pengelasan yang diawali dengan mengatur parameter proses sesuai dengan variabel proses dan variabel konstan. Pengaturan parameter proses dilakukan melalui alat pengaturan yang sudah tersedia pada mesin. Besarnya nilai parameter proses aktual dikontrol oleh peralatan ukur yang terpasang pada mesin, kemudian nilainya diinformasikan melalui sebuah monitor yang terdapat pada mesin sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3

Item Measured	Code	Unit	Target	Lower	Upper	Measured	Unit
Material Length L-L		(mm)	291.00	-3.00	2.90	290.99	OK
Product Length TL-L		(mm)	285.00	-9.00	9.00	287.10	OK
Total Approach U-L		(mm)	6.50	-6.50	6.00	3.89	OK
Friction Thrust F1-L		(N)	5.00	-0.05	0.05	4.99	OK
Friction Thrust F2-L		(N)	10.00	-0.05	0.05	9.99	OK
Friction Time T1-L		(s)	1.00	-0.05	0.05	1.01	OK
Material Length L-A		(mm)	83.5	-2.0	2.0		
Material Length L-B		(mm)	207.0	-3.0	2.0		

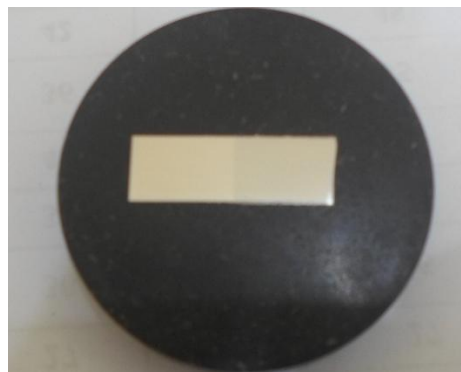
Gambar 3.3 Layar Monitor Hasil Pengukuran Proses Pengelasan

3.5 Pengambilan Data Respon

Setelah dilakukan proses pengelasan gesek sesuai dengan variasi parameter yang ditetapkan, langkah selanjutnya adalah pengukuran respon yang terdiri dari kekerasan, kekuatan impact, laju korosi dan pengamatan struktur mikro.

3.5.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini dilakukan pada sambungan antar muka. Sebelum dilakukan pengujian, benda kerja yang akan diuji kekerasan dipotong melintang sepanjang 10 mm dari arah pusat sambungan ke arah material SUH 3 dan 10 mm ke arah SUH 35. Setelah benda kerja dipotong melintang kemudian *dimounting* untuk memudahkan penghalusan permukaan dan penataan ketika melakukan pengujian kekerasan. Kemudian benda kerja dibersihkan dan diratakan dengan menggunakan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 220, 400, 800, 1200, dan 2000. Pada saat uji kekerasan titik 0 didefinisikan sebagai titik sambungan antara material SUH 3 dan SUH 35. Proses pengambilan distribusi nilai kekerasan dimulai dari titik 0 menuju ke titik 1 dengan jarak tiap titik 1 mm dan seterusnya sampai titik ke 10. Gambar 3.4 merupakan contoh spesimen untuk pengujian kekerasan.



Gambar 3.4 Benda kerja persiapan uji kekerasan

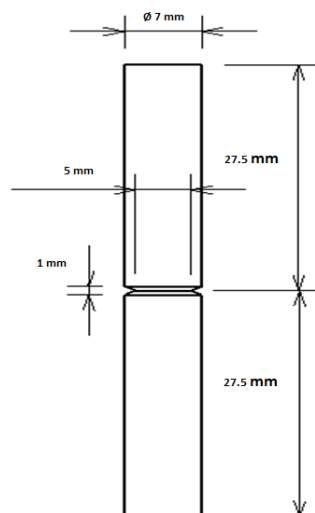
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *vickers* yang memiliki konversi satuan ke dalam HRC, selanjutnya nilai kekerasan diukur dan dicatat dengan satuan HRC. Gambar 3.5 menunjukkan alat pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.5 Alat pengujian kekerasan

3.5.2 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui kekuatan impak pada sambungan hasil las gesek. Pada pengujian impak, material yang akan diuji diberi takik atau *groove* pada daerah sambungan. Adanya takik ini menjadikan luas penampang pada daerah sambungan menjadi lebih kecil sehingga ketika diberi gaya impak maka pada daerah yang ditakik ini akan mengalami kegagalan lebih awal. Gambar 3.6 menunjukkan spesimen untuk percobaan impak.



Gambar 3.6 Spesimen untuk uji impak

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan alat uji impak jenis *Charpy* merek Karl Frank dengan kapasitas energi 15 kpm. Gambar 3.7 menunjukkan alat pengujian impak.

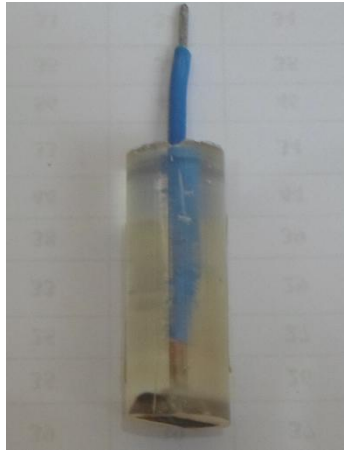


Gambar 3.7 Alat uji impak

3.5.3 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi pada penelitian ini dilakukan pada sambungan antar muka. Pengujian dilakukan dengan menggunakan potensiostat untuk mendapatkan data kerapatan arus (I_{cor}) dan potensial (E_{cor}). Data tersebut merupakan data yang dibutuhkan untuk menghitung laju korosi.

Data awal yang harus diketahui adalah densitas material, berat *equivalent*, luasan area yang akan diuji dan lama waktu pengujian. Material yang diuji sebagai elektoda kerja disambung dengan kawat tembaga kemudian *dimounting* dengan menggunakan resin supaya pada saat pengujian hanya permukaan material yang bereaksi. Setelah *dimounting* kemudian permukaan dihaluskan dengan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 220, 400, 800, 1200, dan 2000. Gambar 3.8 merupakan spesimen untuk pengujian laju korosi.



Gambar 3.8 Spesimen uji laju korosi

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan sel tiga elektroda yang dilengkapi dengan perangkat *software* NOVA 1.8. Gambar 3.9 menunjukkan perangkat peralatan yang digunakan dalam pengujian laju korosi.



Gambar 3.9 Peralatan pengujian laju korosi

3.5.4 Pengamatan Struktur Mikro

3.5.4.1 Mikroskop Optik

Struktur mikro yang diamati dengan mikroskop optik adalah struktur mikro daerah sambungan, material induk baja SUH 3 dan baja SUH 35. Benda kerja pada pengamatan struktur mikro disiapkan dengan menghaluskan permukaan material dengan menggunakan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 220, 400, 800, 1200,

dan 2000, yang kemudian dilanjutkan dengan proses poles. Gambar 3.4 menunjukkan spesimen untuk pengamatan struktur mikro.

Larutan etsa yang digunakan agar struktur mikro dapat diamati adalah campuran dari 20 ml *hydrochloric acid* (HCl) 36 %, 4 gr *copper* (II) *sulfate pentahydrate* ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 99 %, dan 20 ml aquades (H_2O) seperti pada (ASM Handbook Internasional Volume 9, *Metallography and microstructures*) untuk mengamati struktur mikro baja tahan panas. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Mikroskop optik

3.5.4.2 Scanning Electron Microscope

Pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* untuk mengamati struktur mikro permukaan, dan menganalisa komposisi unsur kimia di daerah sambungan baja SUH 3 dan SUH 35 setelah dilakukan proses pengelasan. Gambar 3.10 merupakan gambar *scanning electron microscope*.



Gambar 3.11 *Scanning Electron Microscope*

3.6 Rancangan Eksperimen

Supaya mempermudah memahami variabel proses yang divariasikan pada penelitian ini dibuatlah rancangan eksperimen seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rancangan Eksperimen

No Sampel	Variabel proses			Variabel respon		
	Kecepatan putar (rpm)	Gaya gesek (kN)	Waktu gesek (detik)	Kekerasan (HRC)	Kekuatan impak (kJ/mm ²)	Laju korosi (mm/year)
1	2500	10	1			
2	3000	10	1			
3	3500	10	1			
4	4000	10	1			
5*	4500	10	1			
6	4500	6	1			
7	4500	8	1			
8*	4500	10	1			
9	4500	12	1			
10	4500	14	1			
11	4500	10	0.6			
12	4500	10	0.7			
13	4500	10	0.8			
14	4500	10	0.9			
15*	4500	10	1			

Keterangan: *) Nilai variabel proses yang digunakan sama

3.7 Harapan Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan bisa diperoleh informasi tentang pengaruh dari kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek pada pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi. Korelasi antara perubahan sifat mekanik dan struktur mikro daerah pengelasan merupakan keluaran dari penelitian yang ingin juga dipelajari.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tujuan utama penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter proses pengelasan, yaitu kecepatan putar, gaya gesek, dan waktu gesek terhadap respon kekerasan, kekuatan impak, laju korosi yang dikorelasikan dengan perubahan struktur mikro pada daerah sambungan material yang berbeda baja SUH 3 dan SUH 35.

Pada proses pengelasan gesek, sumber panas yang dihasilkan berasal dari gesekan antar material. Proses penyambungan terjadi akibat adanya difusi antar atom yang terdapat pada baja SUH 3 dengan SUH 35. Difusi atom merupakan fenomena transportasi atau perpindahan material akibat gerak atom. Gerak atom dalam pengelasan gesek diakibatkan oleh kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek. Pada fase gesek yang melibatkan kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek akan meningkatkan suhu dan atom-atom dalam padatan mengalami vibrasi, maka sebagian kecil fraksi dari atom-atom tersebut akan mengalami perubahan posisi dalam kisi (Vlack, 2001)

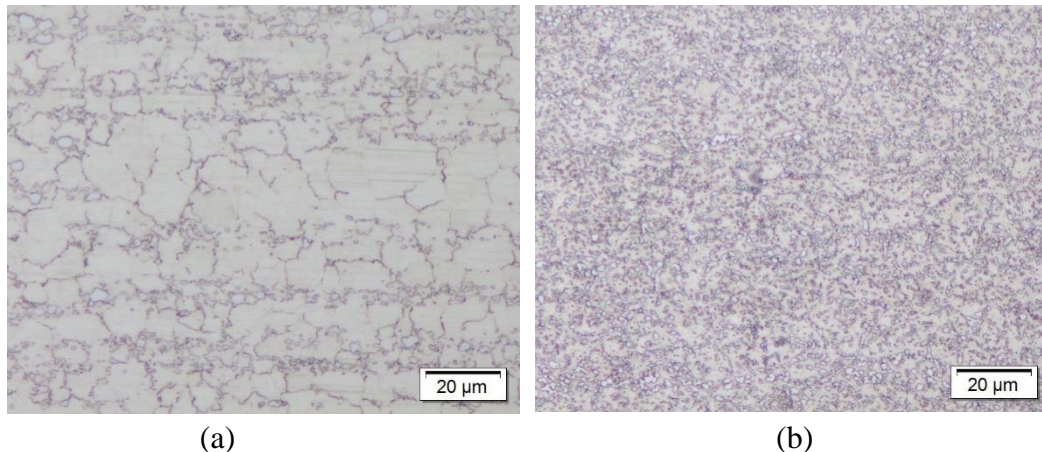
Mekanisme difusi terjadi secara interstisi ataupun substitusi. Difusi secara interstisi terjadi pada atom yang memiliki radius kecil dan dapat menempati posisi interstisial diantara sejumlah atom yang memiliki radius lebih besar, sedangkan difusi secara substitusi terjadi bila atom yang ukurannya sama, maka mekanisme menjadi dominan untuk saling mengisi.

4.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan *Scanning Elektron Microscopy*-EDX. Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik bertujuan untuk melihat butiran dari baja SUH 3 dan SUH 35 pada daerah logam induk dan daerah hasil pengelasan, sedangkan pengamatan SEM-EDX digunakan untuk mengamati persentase unsur logam pada daerah sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm.

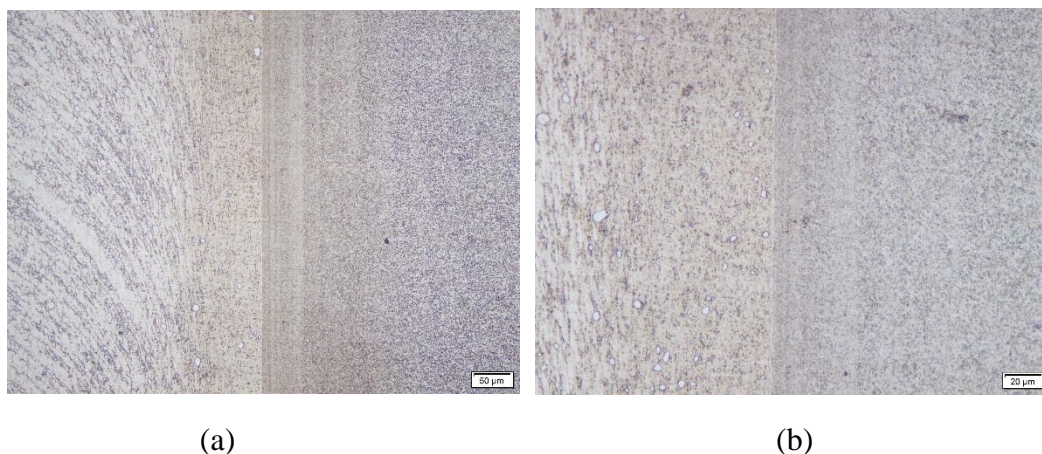
4.1.1 Pengamatan Mikroskop Optik

Pengamatan struktur mikro dilakukan didaerah material induk, daerah deformasi plastis dan daerah sambungan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa baja SUH 35 memiliki stuktur mikro dengan butir yang besar dibandingkan dengan butir pada baja SUH 3.



Gambar 4.1 Strukur Mikro Material Induk (a) SUH 35, (b) SUH 3.

Gambar 4.1 (a) merupakan struktur mikro baja SUH 35 sebelum proses terjadinya pengelasan, sedangkan Gambar 4.1 (b) merupakan struktur mikro baja SUH 3 sebelum proses pengelasan. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa material SUH 3 dan SUH 35 merupakan material yang berbeda dari segi pola butiran yang terbentuk. Material SUH 3 memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan material SUH 35. Struktur Mikro hasil dari pengelasan dengan menggunakan las gesek ditunjukkan pada gambar 4.2 (a) dan (b).



Gambar 4.2 (a) dan (b) Struktur Mikro pada Sambungan SUH 3 dan SUH 35.

Daerah sekitar sambungan memiliki struktur mikro dengan butir yang terdeformasi plastis. Daerah sambungan dan deformasi plastis merupakan bagian yang terpengaruh oleh panas akibat gesekan ketika proses pengelasan terjadi. Butiran yang terbentuk pada daerah terdeformasi plastis cenderung membentuk butiran yang lebih kecil dan pipih dibandingkan dengan butiran pada material yang tidak terdeformasi atau material induknya.

Baja SUH 35 pada saat proses pengelasan berputar dengan kecepatan putar tertentu sehingga butiran yang terbentuk pada material SUH 35 cenderung menjauhi titik pusat material. Butiran tersebut mengalir dengan pola menjauhi titik pusat sambungan diakibatkan oleh gaya sentrifugal akibat dari pengaruh kecepatan putar.



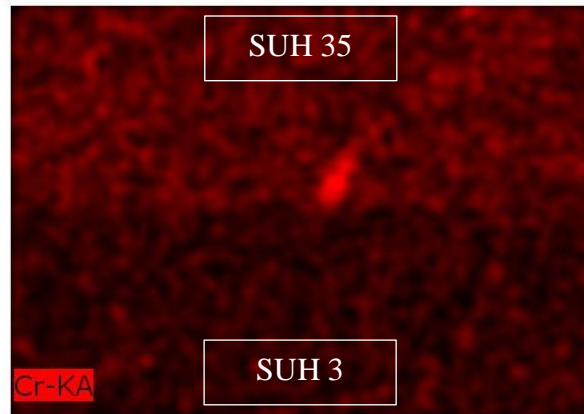
Gambar 4.3 Bentuk Cincin Hasil Las Gesek Baja SUH 3 dan SUH 35

Gambar 4.3 menunjukkan material yang terbuang menjadi cincin yang terbentuk pada proses pengelasan. Bisa dilihat pada gambar bahwa bagian cincin pada material SUH 3 lebih besar dibandingkan dengan material SUH 35 yang menunjukkan kekerasan yang lebih tinggi dari material SUH 35.

4.1.2 Pengamatan *Scanning Elektron Microscopy*-EDX

4.1.2.1 Pengamatan *Scanning Elektron Microscopy*-EDX Hasil Pengelasan pada Kecepatan Putar 2500 rpm

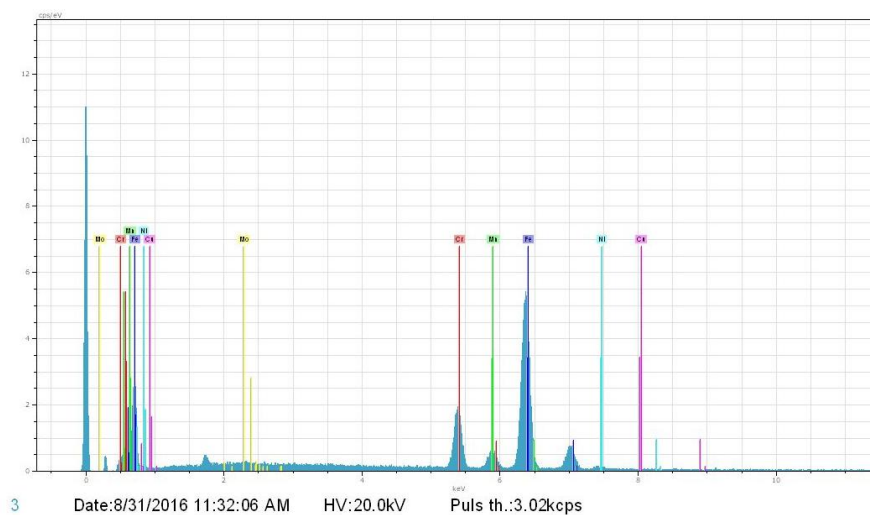
Pengamatan SEM-EDX material hasil pengelasan bertujuan untuk mengetahui sebaran unsur logam di antaranya Cr, Mn, Fe, Ni, Cu dan Mo. Gambar 4.4 menunjukkan contoh gambar katakterisasi unsur logam pada pengujian dengan menggunakan SEM-EDX.



Gambar 4.4 Karakterisasi Unsur Logam Cr pada Pengujian SEM-EDX.

Hasil dari pengujian karakterisasi atom menunjukkan bahwa unsur logam Cr paling banyak berada pada daerah material SUH 35 dibandingkan dengan material SUH 3. Pada pengujian karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX unsur-unsur logam dapat dikarakterisasi dengan warna merah untuk kromium.

Unsur logam pada daerah sambungan menghasilkan persentase unsur yang berbeda dengan logam induknya. Hasil persentase komposisi unsur logam pada daerah sambungan ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan ditabelkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.5 Persentase Unsur Logam di Daerah Sambungan Pada Kecepatan Putar 2500 rpm.

Tabel 4.1 Persentase unsur logam pada sambungan kecepatan putar 2500 rpm

El	AN	Series	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	13,25	14,00	14,99	0,4
Mn	25	K	4,29	4,54	4,60	0,2
Fe	26	K	72,99	77,12	76,89	2,0
Ni	28	K	1,89	2,00	1,90	0,1
Cu	29	K	0,87	0,92	0,80	0,1
Mo	42	L	1,35	1,43	0,83	0,1
Total			94,65	100,00	100,00	-

Pengujian dengan menggunakan SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui dan mendapatkan data persentase unsur logam pada daerah sambungan, yang dimungkinkan di daerah tersebut terbentuk komposisi material baru diakibatkan oleh proses pengelasan baja SUH 3 dengan baja SUH 35. Pada kecepatan putar 2500 rpm didapatkan unsur logam Cr 14,99 at.%, Mn 4,60 at.%, Fe 76,89 at.%, Ni 1,90 at.%, Cu 0,80 at.%, dan Mo 0,83 at.%.

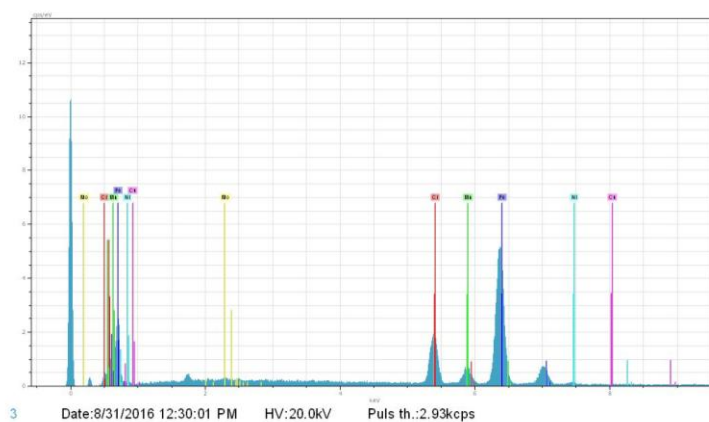
Hasil persentase unsur logam pada pengelasan dengan menggunakan kecepatan putar 2500 rpm diduga juga telah terjadi difusi atomik baik secara interstisi ataupun substitusi. Mekanisme difusi tersebut yang akan menghasilkan persentase unsur yang tidak sama dengan persentase dengan logam induknya. Fenomena difusi pada atom Cr juga kemungkinan baja SUH 35 mengalirkan atom Cr pada daerah yang memiliki Cr lebih sedikit pada baja SUH 3. Hasil pengamatan SEM-EDX yang ditabelkan pada tabel 4.2 pada pengambilan titik material induk SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan menunjukkan bahwa atom Cr sudah mengalami penurunan persentase, dari yang awalnya Cr pada material induk sebesar 21,13% menjadi 20,87 at.%.

Tabel 4.2 Persentase unsur di material induk SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan kecepatan putar 2500 rpm

El	AN	Series	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	18,44	19,59	20,87	0,6
Mn	25	K	8,73	9,27	9,35	0,4
Fe	26	K	61,33	65,10	64,62	1,7
Ni	28	K	3,56	3,78	3,57	0,2
Cu	29	K	0,87	0,93	0,81	0,1
Mo	42	L	1,28	1,36	0,79	0,1
Total			94,21	100,00	100.00	-

4.1.2.2 Pengamatan *Scanning Elektron Microscopy-EDX* Pada Hasil Pengelasan Kecepatan Putar 4500 rpm

Material SUH 3 dan SUH 35 yang telah dilas dengan menggunakan las gesek menggunakan kecepatan putar 4500 rpm juga diamati pada daerah sambungan. Tujuan pengamatan yaitu untuk melihat sebaran unsur logam di antaranya Cr, Mn, Fe, Ni, Cu dan Mo. Unsur logam di daerah sambungan menghasilkan persentase unsur yang berbeda dengan logam induknya. Hasil persentase unsur logam ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan ditabelkan pada tabel 4.3.



Gambar 4.6 Persentase Unsur Logam di Daerah Sambungan Pada Kecepatan Putar 4500 rpm

Tabel 4.3 Persentase unsur logam pada sambungan kecepatan putar 4500 rpm

El	AN	Series	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	14,07	14,77	15,82	0,5
Mn	25	K	4,71	4,94	5,01	0,3
Fe	26	K	72,11	75,71	75,47	2,0
Ni	28	K	1,83	1,92	1,82	0,1
Cu	29	K	1,08	1,13	0,99	0,1
Mo	42	L	1,46	1,53	0,89	0,1
Total			95,24	100,00	100.00	-

Gambar 4.6 menunjukkan hasil SEM-EDX dengan menampilkan persentase unsur yang berada pada daerah sambungan. Pada kecepatan putar 4500 rpm didapatkan unsur Cr 15,82%, Mn 5,01%, Fe 75,47%, Ni 1,82%, Cu 0,99%, dan Mo 0,89%. Pada penambahan kecepatan putar unsur logam yang mengalami peningkatan presentase pada daerah sambungan adalah Cr, Mn dan Cu. Unsur logam yang mengalami penurunan persentase adalah Fe dan Ni sedangkan persentase Mo cenderung kenaikannya kecil sebesar 0.06%. Kenaikan unsur logam Cr dan Mn dikarenakan pengaruh kecepatan putar diduga akan menghasilkan perbedaan laju korosi pada kecepatan putar rendah dengan kecepatan putar tinggi.

Semakin tinggi kecepatan putar pada las gesek dimungkinkan akan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan putar rendah, sehingga makin tingginya temperatur tersebut akan menyebabkan difusifitas makin tinggi pula, karena atom-atom memiliki energi termal yang lebih tinggi dan dengan demikian probabilitas untuk melampaui hambatan antar atom juga lebih besar. Jika atom-atom dapat mengalami difusi tanpa hambatan pada kecepatan putar tinggi dimungkinkan akan menghasilkan ikatan antar muka antara baja SUH 3 dan SUH 35 lebih baik ditinjau dari sifat mekanik hasil sambungan.

Tabel 4.4 Persentase unsur di material induk SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan kecepatan putar 4500 rpm

El	AN	Series	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	17,71	18,41	19,65	0,6
Mn	25	K	8,76	9,10	9,19	0,4
Fe	26	K	63,77	66,29	65,86	1,8
Ni	28	K	3,56	3,78	3,57	0,2
Cu	29	K	1,25	1,30	1,13	0,1
Mo	42	L	1,22	1,26	0,73	0,1
Total			96,20	100,00	100.00	-

Fenomena mengalirnya atau berpindahnya aliran atom logam Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Mo dari baja SUH 35 menuju daerah sambungan dapat dilihat pada tabel 4.4 hasil pengujian SEM-EDX di daerah material SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan. Perubahan persentase atom Cr dari material induk SUH 35 21,13%, diposisi pengambilan SUH 35 jarak 1 mm dari sambungan menjadi 19,65 a.t% dan pada daerah sambungan menjadi 15,82 at.% menunjukkan adanya difusi/aliran atom dari material SUH 35 ke daerah sambungan hasil pengelasan material SUH 3 dan SUH 35.

4.2 Data Hasil Pengujian

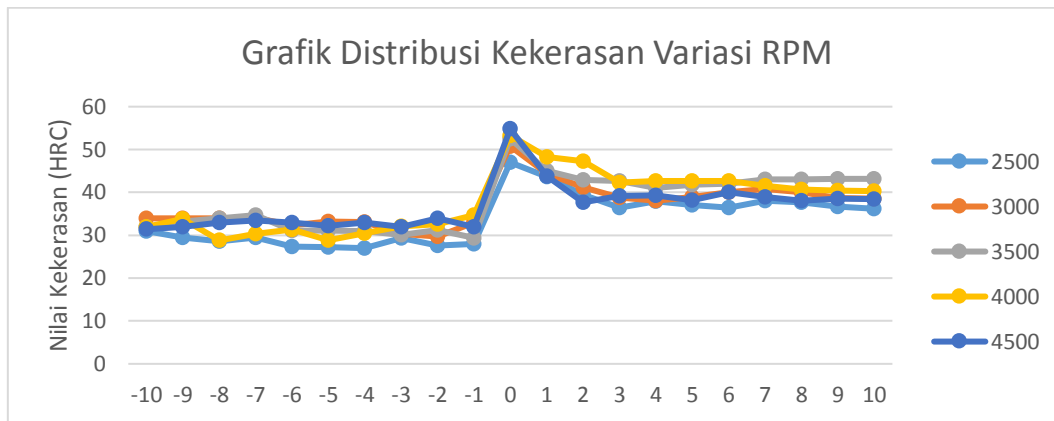
Data hasil pengujian merupakan data yang diperoleh dari penyambungan baja SUH 3 dan SUH 35 dengan memvariasikan parameter proses tunggal. Parameter proses yang divariasikan meliputi putaran spindel, gaya gesek dan waktu gesek. Setelah dilakukan pengelasan didapatkan respon hasil pengujian kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi. Adapun hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian

No sampel	Parameter			Respon		
	Kecepatan putar (rpm)	Gaya gesek (kN)	Waktu gesek (detik)	Kekerasa (HRC)	Kekuatan impak (kJ/m ²)	Laju korosi (mm/tahun)
1.	2500	10	1	47	294,19	0.069
2.	3000	10	1	50.8	333,42	0.068
3.	3500	10	1	52.5	353,03	0.063
4.	4000	10	1	53.3	392,26	0.059
5.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051
6.	4500	6	1	48.3	294,19	0.064
7.	4500	8	1	48.4	392,26	0.062
8.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051
9.	4500	12	1	51.8	490,33	0.057
10.	4500	14	1	50.9	392,26	0.062
11.	4500	10	0.6	48.1	392,26	0.056
12.	4500	10	0.7	49.4	235,35	0.055
13.	4500	10	0.8	49.8	411,87	0.053
14.	4500	10	0.9	50.3	490,33	0.052
15.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051

4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Bagian sambungan hasil pengelasan didefinisikan sebagai titik 0 kemudian digeser pada sumbu x sebesar 1 mm sampai 10 mm ke arah positif sebagai material SUH 35 dan negatif sumbu x sebesar -1 mm sampai -10 mm ke arah negatif sebagai material SUH 3. Distribusi pengujian kekerasan bertujuan untuk dapat mengetahui seberapa besar daerah yang terpengaruh panas dari hasil pengelasan. Hasil pengujian kekerasan pada daerah sambungan dengan variasi level kecepatan putar, dari putaran 2500 rpm sampai dengan putaran 4500 rpm didapatkan nilai kekerasan paling tinggi berada pada daerah sambungan antara material SUH 3 dan SUH 35. Peningkatan kekerasan pada daerah sambungan lasan berdasarkan perbedaan kecepatan putar dapat dilihat pada Gambar 4.7.

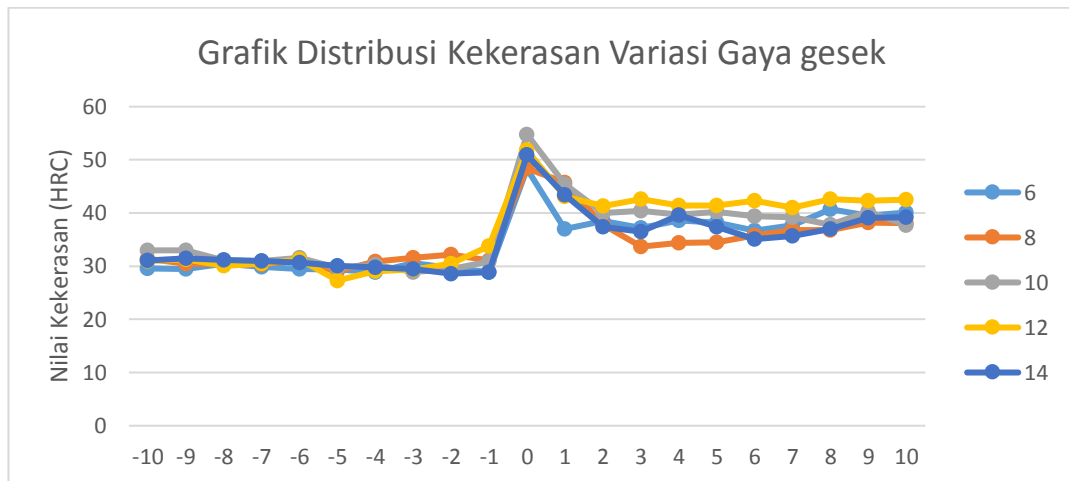


Gambar 4.7 Grafik Pengujian Kekerasan terhadap Variasi Kecepatan Putar

Gambar 4.7 menunjukkan distribusi nilai kekerasan pada daerah sambungan dari kecepatan putar 2500 sampai 4500 rpm. Kekerasan paling tinggi berada pada sumbu $x = 0$ yang merupakan daerah sambungan. Daerah sambungan merupakan daerah yang mendapatkan input panas paling tinggi sekitar 1200°C , sehingga pada daerah sambungan tersebut kemungkinan terjadi deformasi kristal. Deformasi kristal yaitu perubahan struktur dan kisi kristal dikarenakan adanya perlakuan, dalam penelitian ini perlakuan yang memungkinkan terjadinya deformasi kristal adalah kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek pada pengelasan dengan menggunakan las gesek.

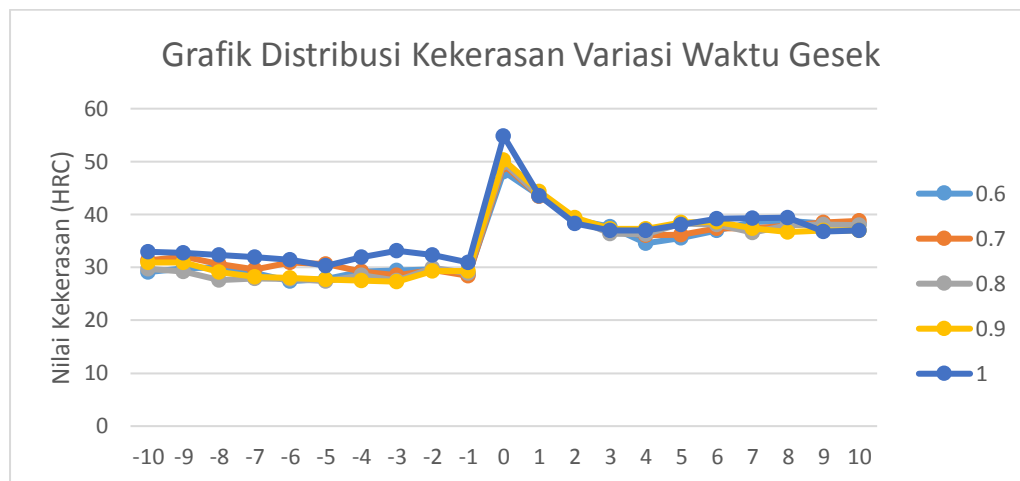
Variasi tinggi rendahnya kecepatan putar diduga juga menghasilkan input panas yang berbeda pada daerah sambungan, pada putaran spindel 2500 rpm input panas yang dihasilkan berbeda dengan kecepatan putar 4500 rpm. Hasil dari pengujian nilai kekerasan, kekerasan paling tinggi pada daerah sambungan didapatkan pada kecepatan putar 4500 rpm.

Selain pengaruh dari kecepatan putar, gaya gesek juga mempengaruhi input panas pada daerah sambungan. Besarnya gaya gesek yang diberikan akan mengakibatkan seberapa besar butiran tersebut terdeformasi oleh gaya yang diberikan. Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada daerah sambungan dengan variasi gaya gesek 6 kN sampai 14 kN.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Kekerasan terhadap Variasi Gaya Gesek.

Hasil Pengujian kekerasan pada penambahan gaya gesek 10 kN menghasilkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah sambungan sebesar 54.8 HRC. Penambahan gaya gesek pada 12 dan 14 kN akan menurunkan nilai kekerasan pada daerah sambungan. Diduga material SUH 35 mempunyai daerah terpengaruh panas yang lebih besar dibandingkan dengan material SUH 3, hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian distribusi kekerasan. Material SUH 35 mencapai nilai kekerasan yang cenderung stabil mendekati nilai kekerasan material induk pada jarak lebih dari 3 mm dari pusat sambungan, sedangkan pada baja SUH 3 daerah yang terpengaruh panas cenderung lebih kecil. Pada jarak 1 mm dari pusat sambungan nilai kekerasan material SUH 3 cenderung mulai mendekati nilai kekerasan material induk baja SUH 3. Selain kecepatan putar dan gaya gesek, waktu gesek juga mempengaruhi nilai kekerasan pada daerah sambungan. Hasil kekerasan pada material berdasarkan variasi waktu gesek dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.9 Grafik Pengujian Kekerasan terhadap Variasi Waktu Gesek.

Gambar 4.9 menunjukkan perubahan nilai kekerasan pada daerah sambungan karena penambahan waktu gesek. Nilai kekerasan pada waktu gesek 0.6 sebesar 48,1 HRC. Penambahan waktu gesek hingga 1 detik meningkatkan nilai kekerasan pada daerah sambungan hingga 54,8 HRC. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, diperoleh bahwa nilai variabel proses yang paling baik yaitu pada kecepatan putaran 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik.

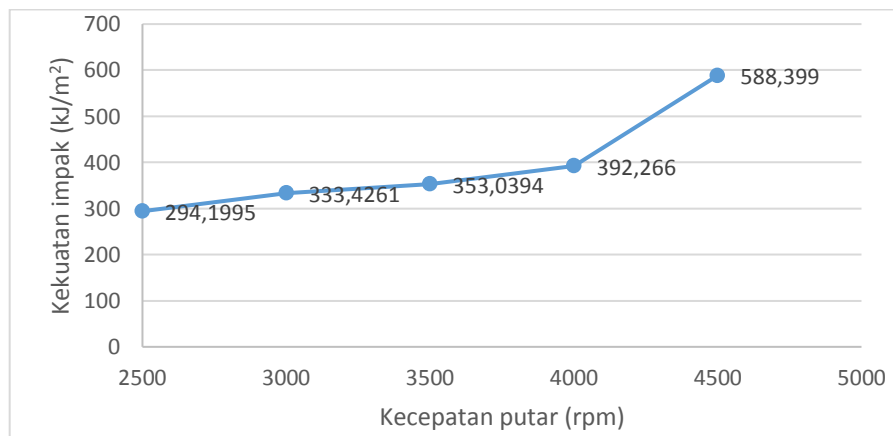
Peningkatan kekerasan di daerah sambungan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kekerasan pada daerah material induk. Hal ini disebabkan karena terjadi perlakuan panas pada daerah sambungan yang disebabkan oleh pengaruh kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek. Peningkatan temperatur sebanding dengan penambahan kecepatan putaran pada gaya dan waktu gesek tertentu. Peningkatan temperatur menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan mikroskopik pada daerah sambungan dan daerah HAZ. Perubahan-perubahan mikroskopik berupa perubahan struktur kristal, perubahan komposisi kimia dan deformasi plastis pada material sambungan. Perubahan struktur kristal dapat dideteksi menggunakan analisis TEM. Perubahan komposisi kimia pada daerah sambungan (Gambar 4.5 dan 4.6) dibandingkan dengan material induk disebabkan karena peningkatan temperatur diduga menyebabkan energi atom meningkat sehingga atom pada daerah sambungan mengalami vibrasi yang lebih energetik dan mampu melepaskan diri dari ikatannya dengan atom lain. Atom yang berpisah akan mengalami difusivitas baik berupa interstisi maupun substitusi. Peningkatan

kandungan kromium pada material di daerah sambungan dibandingkan dengan material induk diduga karena atom kromium mengalami proses difusi akibat peningkatan temperatur. Dengan besar atom yang sama dengan Fe, mengakibatkan atom Cr dapat menggantikan posisi Fe melalui peristiwa substitusi. Selain Cr, karbon (C) juga mengalami peristiwa difusi pada daerah sambungan. Peningkatan temperatur menyebabkan pergerakan atom C yang terikat pada kisi sehingga memungkinkan atom C mengalami interstisi di daerah sambungan. Peningkatan jumlah atom C pada daerah sambungan dan HAZ menyebabkan kekerasan meningkat.

4.2.2 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan cara memberikan pembebanan dengan cepat (*rapid loading*). Spesimen uji impak ditakik pada daerah sambungan agar konsentrasi pembebanan terpusat pada daerah sambungan. Hasil pengujian impak yang diperoleh berupa energi impak kemudian dikonversikan sebagai kekuatan impak.

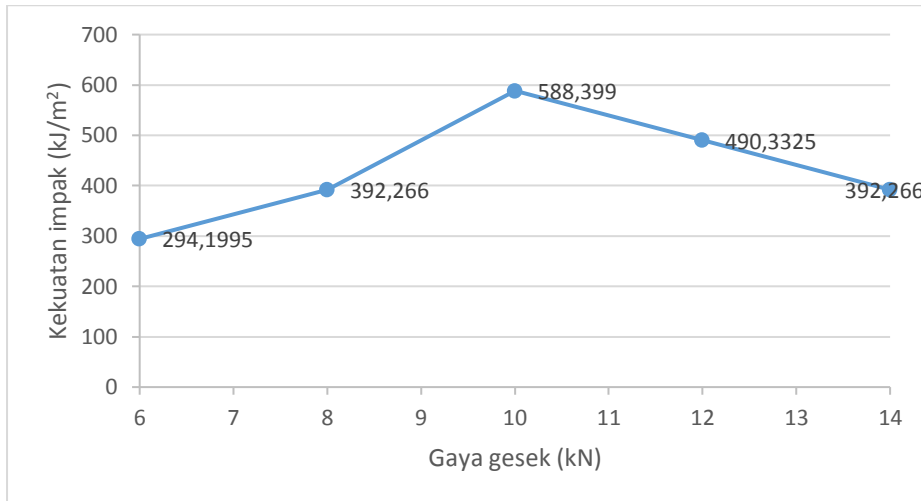
Perubahan kekuatan impak yang terjadi karena pengaruh penambahan kecepatan putar ditunjukkan pada Gambar 4.10. Kekuatan impak pada kecepatan putar 2500 rpm sebesar 294.19 kJ/m². Penambahan kecepatan putar sampai dengan kecepatan 4500 rpm dapat meningkatkan kekuatan impak sebesar 588.39 kJ/m².



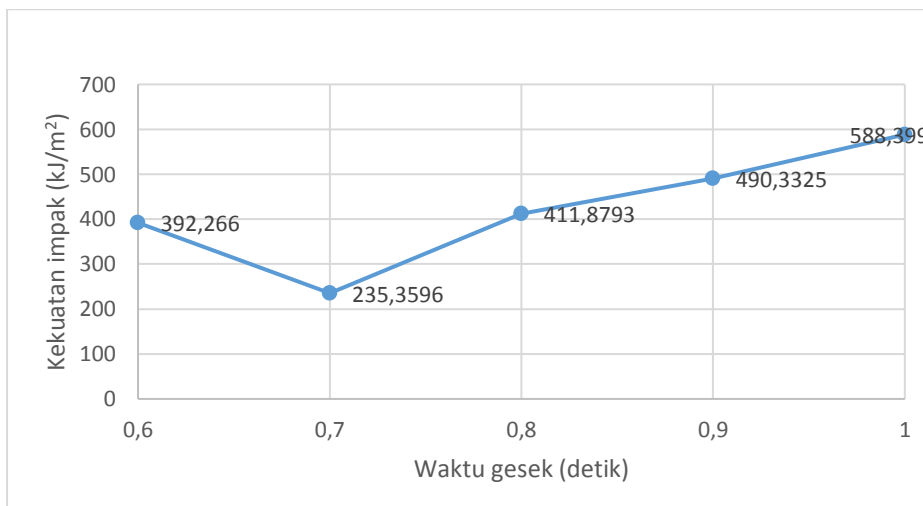
Gambar 4.10 Grafik Hasil Uji Impak terhadap Variasi Kecepatan Putar

Perubahan kekuatan impak yang terjadi karena pengaruh dari penambahan gaya gesek ditunjukkan pada Gambar 4.11. Kekuatan impak akan meningkat

sampai titik optimum kemudian mengalami penurunan kekuatan impak pada penambahan gaya gesek lebih lanjut. Kekuatan impak pada pemberian gaya 6 kN sebesar 294,19 kJ/m² kemudian mengalami peningkatan sampai titik optimum pada pemberian gaya gesek 10 kN kekuatan impak menjadi 588,39 kJ/m².



Gambar 4.11 Grafik Hasil Uji Impak terhadap Variasi Gaya Gesek



Gambar 4.12 Grafik Hasil Uji Impak terhadap Variasi Waktu Gesek

Gambar 4.12 menunjukkan perubahan nilai kekuatan impak dari variasi waktu 0.6 detik sampai waktu 1 detik. Pada variasi waktu gesek penambahan waktu gesek akan menghasilkan kekuatan impak semakin tinggi. Kekuatan impak yang dihasilkan pada waktu gesek 0.6 detik sebesar 392.26 kJ/m². Sedangkan kekuatan

impak paling tinggi diperoleh ketika waktu gesek diatur selama 1 detik, didapatkan nilai kekuatan impact sebesar 588.39 kJ/m².

Peningkatan kekuatan impact hasil lasan menunjukkan hasil sambungan sangat bagus ditinjau dari ikatan antar logam dari sambungan yang dihasilkan. Ikatan antar logam yang dihasilkan pada proses las gesek baja SUH 3 dan SUH 35 sangatlah dipengaruhi oleh beberapa parameter proses yang divariasikan dalam penelitian ini. Hasil uji impact paling tinggi terdapat pada kecepatan putaran 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik.

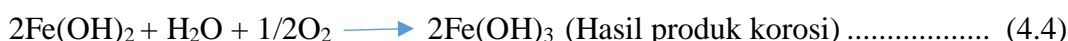
Peningkatan kekuatan impact diduga karena pemanasan pada material di daerah sambungan mengakibatkan terjadinya vibrasi atomik dimana elektron-elektron logam yang terdelokalisasi bergerak dengan mudah di sepanjang gradien potensial pada daerah sambungan. Ketidak teraturan memungkinkan pergerakan atom selama proses pemanasan sehingga terbentuk struktur baru yang menghasilkan perilaku keuletan pada logam. Struktur baru yang terbentuk merupakan gabungan dari material SUH 3 dan SUH 35 terutama pada atom-atom yang terdifusi baik yang mengalami interstisi maupun substitusi.

4.2.3 Hasil pengujian korosi

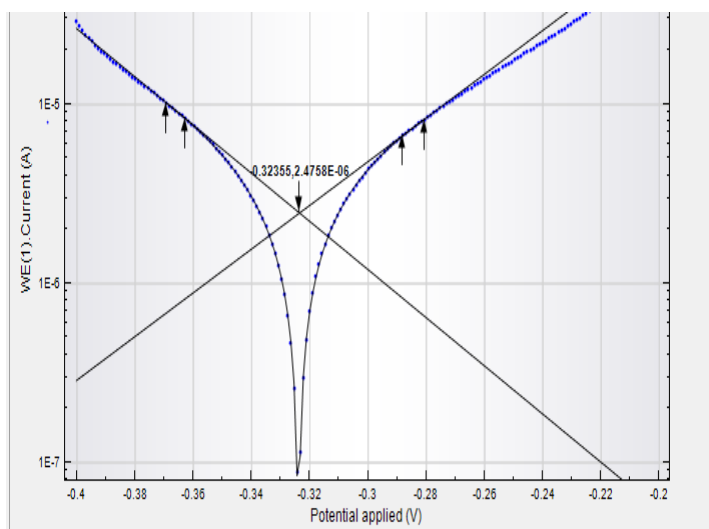
Pengujian korosi menggunakan potensiostat tiga elektroda dengan elektroda kerja yang dialiri oleh listrik. Aliran listrik ini bertujuan untuk mempercepat reaksi elektrokimia yang terjadi antara benda kerja dengan elektrolit. Metode yang digunakan pada pengujian korosi ini adalah dengan menggunakan metode ekstrapolasi tafel. Pada metode ini merupakan metode untuk mengukur laju korosi basah, dengan menarik garis lurus pada daerah linier kurva polarisasi katodik dan kurva polarisasi anodik sehingga kedua garis tersebut berpotongan pada satu titik, dimana titik tersebut merupakan potensial korosi atau E_{corr} dan arus korosi I_{corr} .

Korosi diakibatkan oleh reaksi redoks yang dihasilkan logam dengan larutan elektrolit. Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah NaCl 3.5%. Pada larutan garam reaksi reduksi yang terjadi bukan merupakan pembentukan gas hidrogen dari ion hidrogen melainkan pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida dari penguraian air sehingga ekstrapolasi tafel katodik merupakan

ekstrapolasi reaksi reduksi dari air. Sedangkan menurut (Fontana,1987) reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada penggunaan air garam sebagai elektrolit adalah sebagai berikut:

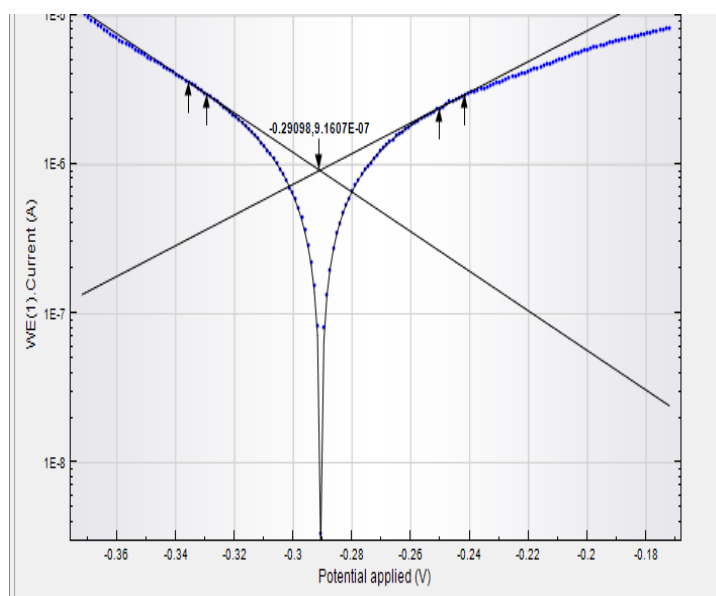


Gambar 4.13 menunjukkan kurva polarisasi hasil pengujian laju korosi pada baja SUH 3. Kurva tersebut terbentuk dari kurvaanodik dan kurva katodik. Kurva anodik terjadi ketika elektroda kerja dialiri oleh arus listrik kemudian unsur logam yang tadinya netral kemudian melepaskan elektron-elektron untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan, seperti pada (Persamaan 4.1). Pada kurva katodik reaksi yang terjadi adalah penangkapan elektron-elektron yang dilepaskan oleh reaksi anoda (Persamaan 4.2). Hasil pengujian menunjukkan laju korosi pada baja SUH 3 sebesar 0.086 mm/tahun. Pada kurva polarisasi baja SUH 3 nilai laju korosi ditentukan pada perpotongan E_{cor} dan $\log I_{\text{cor}}$. Garis perpotongan antara $\log I_{\text{cor}}$ dan E_{cor} berada pada titik $(-0.32355, 2.478\text{E}-06)$.



Gambar 4.13 Grafik Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja SUH 3.

Kurva polarisasi pada pengujian laju korosi baja SUH 35 ditunjukkan pada Gambar 4.14. Hasil pengujian menunjukkan laju korosi pada baja SUH 35 sebesar 0.032 mm/tahun. Pada kurva polarisasi baja SUH 3 nilai laju korosi ditentukan pada perpotongan E_{cor} dan $\log I_{cor}$. Garis perpotongan antara E_{cor} dan $\log I_{cor}$ berada pada titik (-0.29098, 9.1607E-07).

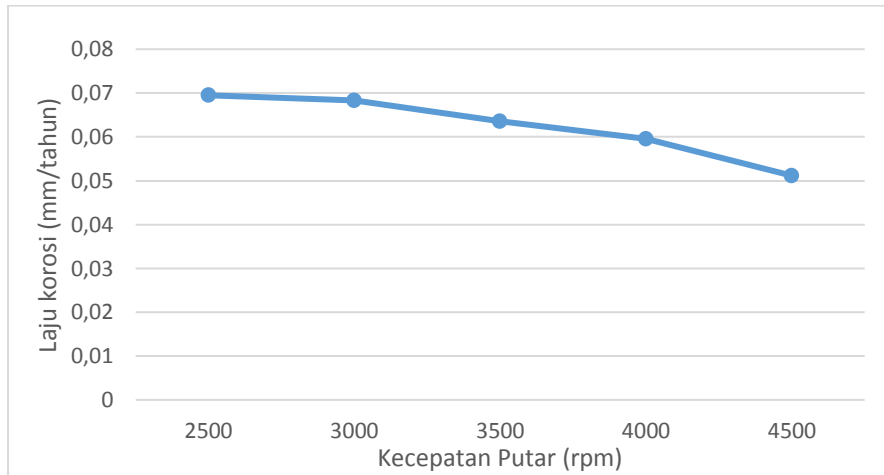


Gambar 4.14 Grafik Polarisasi Pengujian Laju Korosi Baja SUH 35.

Laju korosi baja SUH 3 dan SUH 35 sangatlah dipengaruhi dari unsur – unsur logam yang berada pada baja paduan. Baja SUH 3 dan SUH 35 sama-sama memiliki kandungan unsur Cr yang dapat memproteksi terjadinya korosi pada Fe. Akan tetapi persentase Cr dari baja SUH 3 dan SUH sangat berbeda. Perbedaan hasil laju korosi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan persentase unsur Cr pada baja SUH 3 sebesar 10.14% sedangkan unsur Cr pada baja SUH 35 sebesar 21.13%. Perbedaan kandungan Cr pada kedua baja tersebut juga mempengaruhi hasil pengujian laju korosi baja SUH 3 dan SUH 35.

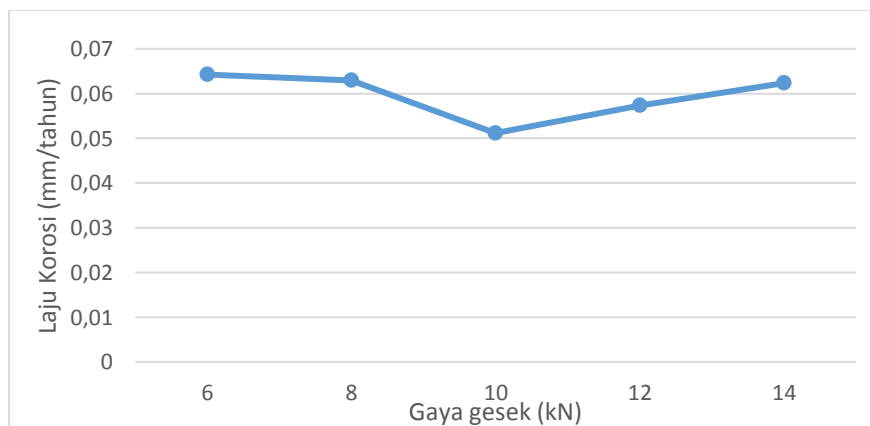
Grafik hasil Pengujian laju korosi sebagai fungsi kecepatan putar ditunjukkan pada Gambar 4.15. Peningkatan kecepatan putar menyebabkan laju korosi semakin menurun. Kecepatan putar maksimal pada 4500 rpm menghasilkan laju korosi sebesar 0.051 mm/tahun. Pada kecepatan putar 4500 unsur logam Cr cenderung mengalami peningkatan (Tabel 4.3) dibandingkan pada kecepatan putar

rendah (Tabel 4.1) sehingga berdampak pada hasil pengujian laju korosi. Peningkatan Cr pada putaran spindel 4500 rpm diduga mampu menghambat laju korosi dari Fe, sehingga Fe akan terproteksi oleh Cr.



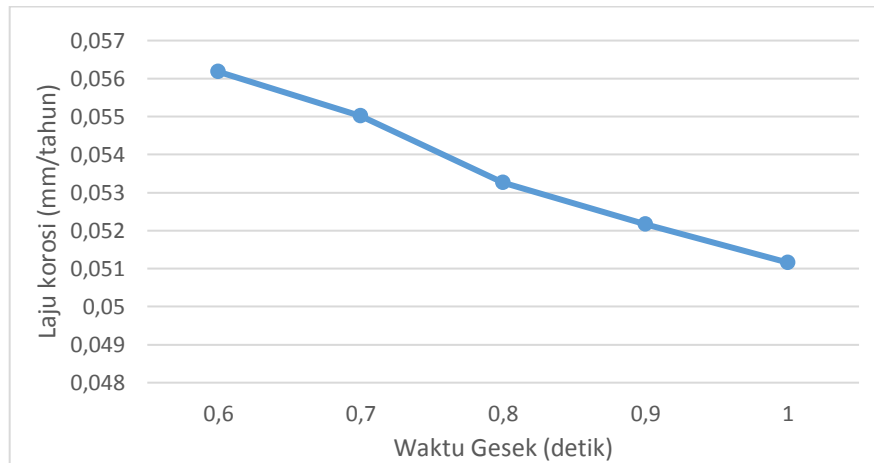
Gambar 4.15 Laju Korosi Sebagai Fungsi Kecepatan Putar

Gambar 4.16 menunjukkan grafik hasil pengujian laju korosi sebagai fungsi gaya gesek. Laju korosi paling rendah didapatkan pada gaya gesek sebesar 10 kN, sehingga kemungkinan sambungan yang menghasilkan laju korosi paling baik berada pada kondisi gaya tekan sebesar 10 kN. Sambungan lasan dengan nilai laju korosi paling rendah berarti sambungan tersebut memiliki ketahanan terhadap korosi paling tinggi. Hal tersebut dimungkinkan pada kondisi gayatekan 10 kN memiliki unsur Cr yang lebih banyak daripada saat gaya gesek yang lain.



Gambar 4.16 Laju Korosi Fungsi Gaya Gesek

Gambar 4.17 menunjukkan grafik hasil pengujian laju korosi sebagai fungsi penambahan waktu tekan dari 0.6 detik sampai dengan 1 detik. Penambahan waktugesekselama 1 detik menunjukkan nilai laju korosi paling rendah yaitu sebesar 0.051 mm/tahun. Waktu gesek 1 detik menghasilkan laju korosi yang lebih rendah.



Gambar 4.17 Pengujian Laju Korosi Fungsi Waktu Gesek

Suhu atau temperature yang dihasilkan pada proses pengelasan dengan menggunakan las gesek kemungkinan dipengaruhi oleh kecepatan putar dan waktu gesek. Semakin tinggi kecepatan putar dan semakin lama waktu gesek akan menghasilkan suhu yang tinggi. Pada saat suhu yang dihasilkan semakin tinggi menyebabkan difusivitas makin tinggi pula, karena atom-atom memiliki energi termal yang lebih tinggi dan dengan demikian atom-atom dapat mengalami vibrasi tanpa hambatan. Atom Cr cenderung mengalami peningkatan pada suhu tinggi di daerah sambungan sehingga dapat menurunkan laju korosi pada sambungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terjadi perubahan struktur mikro dan perbedaan orientasi kristal pada daerah sambungan.
2. Pengamatan menggunakan *scanning elektron microscopy* – EDX pada hasil pengelasan dengan kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm menunjukkan perubahan komposisi kimia pada sambungan. Kandungan Cr meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar dari 2500 rpm hingga 4500 rpm. Prosentase Cr pada kecepatan putar 2500 rpm sebesar 14.99%, dan menjadi 15.82% pada kecepatan putar 4500 rpm.
3. Sifat mekanis sambungan yang terkait dengan kekerasan dan kekuatan impak dipengaruhi oleh pemilihan parameter pengelasan. Laju korosi daerah sambungan terpengaruh juga oleh pemilihan parameter ini. Pengelasan pada kecepatan putar 4500 rpm, gaya gesek 10 kN dan waktu gesek 1 detik mampu meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan impak paling tinggi serta penurunan laju korosi paling besar. Kekerasan pada daerah sambungan mencapai 54.8 HRC, dengan kekuatan impak sebesar 588.39 kJ/m², dan dapat menurunkan laju korosi sampai 0.051 mm/tahun.

5.2 Saran

Supaya hasil penelitian tentang fenomena yang terjadi pada hasil pengelasan dengan las gesek bisa lebih lengkap, maka saran untuk peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut:

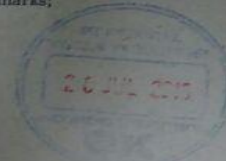

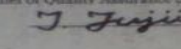
1. Hendaknya melakukan pengamatan lanjutan distribusi nilai kekerasan pada daerah horizontal pada hasil pengelasan.
2. Melakukan tambahan pengujian tarik untuk melengkapi data kekuatan mekanik sambungan baja SUH 3 dan SUH 35.
3. Melakukan penelitian serupa dengan mengamati perubahan temperatur pada variasi kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Internasional, (1993), *Welding Brazing and Soldering*, Vol. 6, AS.
- ASM Handbook Internasional, (1993), *Metallography and microstructures*, Vol 6 AS.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D.G. (2007), *Materials science and engineering: an introduction* (Vol. 7, pp. 665-715), New York: Wiley.
- Faizal, Amarnath, T. S. dan Roshan, T. N. (2014), “*An Investigation of Mechanical Properties of Aluminium 6063-T6 after Friction Welding Process*”, International journal engineering trends and technology. Volume 17 Number 5.
- Fontana, M. G, (2005), *Corrosion engineering*, Tata McGraw-Hill Education.
- Kirik, I. dan Ozdemir, N. (2014), “*Effect of Process Parameters on The Microstructure And Mechanical Properties Of Friction-Welded Joints Of AISI 1040/AISI 304L Steels*”, Journal Material and technology 49 (2015) 5, 825-832.
- Muralimohan, C.H., Haribabu, S., Reddy, Y.H., Muthupandi, V., dan Sivaprasad, K., (2014), “*Evaluation of microstructures and mechanical properties of dissimilar material by friction welding*”, Procedia materials science 5, 1107-1113.
- Prasetyono, S. dan Subiyanto, H. (2012), “Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa terhadap *impact strength* sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon AISI 1045”. Jurnal sains dan seni pomits vol.1, No. 1, hal 1-5.
- Selvamani, S.T., Palanikumar, K., Umanat, T.H., dan Jayaperumal, D. (2014), “*Analysis of Friction welding parameters on the Mechanical Metallurgical and Chemical properties of AISI 1035 steel joints*”. Journal Material and Design.
- Subhavardhan, R.N, dan Surendran, S, (2012) “*Friction welding to joining dissimilar metals*”, International journal of emerging technology and advance engineering, Volume 2 ISSN 2250-2459.

- Trethewey, K.R (1991), *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Vlack, Lawrance H. Van. (2004), *Elemen-elemen ilmu dan rekayasa material*, edidisi 6, Erlangga, Jakarta

Lampiran 1
Sertifikat Material SUH 3

INSPECTION CERTIFICATE																
Contractor; Messrs. <u>NITTAN VALVE CO., LTD.</u>					Date; <u>APR., 27, 2016</u>					Packing List No.; <u>4 174</u>						
Purchaser; Messrs. _____					Contract No.; <u>TD-380</u>					Customer No.; _____						
Condition; <u>HOT ROLLED, ANNEALED, COLD DRAWN AND CENTERLESS GROUND.</u>																
62E066-020-02																
Symbol of Grade		Heat No.	Quantity		Size & Shape (mm)	Length (m)	Bundle No.	Pieces	Weight (KGS)	Body Hardness (HRC)	Grain Size					
SUH3		M2548	7.25 D		3.9	20	380	469	25-34	32-33						
Chemical Composition (mass %)																
Elements	C X100	Si X100	Mn X100	P X1000	S X1000	Cu X100	Ni X100	Cr X100	Mo X100							
Speci- fication	35	180	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	1000	70							
Results	45	250	60	30	30	30	60	1200	130							
Results	42	189	28	25	9	12	27	1014	71							
Magnetic Characteristics																
Items	Magnetic Flux Density				Coercive Force		Maximum Permeability		Non Metallic Inclusion (ASTM-A)							
Speci- fication									THIN A		HEAVY B		THIN C		HEAVY D	
Results	-				-		-		MAX 2.5		MAX 1.5		MAX 2.0		MAX 1.5	
Results	-				-		-		0		0		0		0	
Mechanical Properties																
Items	Yield Strength (Proof Stress)	Tensile Strength	Elong- ation	Reduction of Area	Hardness	Impact Value	Remarks; <div style="text-align: center;"></div>									
Unit	N/mm ²	N/mm ²	%	%	HB	J/cm ²										
Speci- fication	MIN 685	MIN 930	MIN 15	MIN 35	MIN 269	MIN 20										
Results	825	1063	19	47	293	28										
Heat Treatment		Magnetic														
<p style="text-align: center;">(Yield Strength is equal to 0.2% Proof Stress.)</p> <p style="text-align: center;">It is hereby certified that the above results are true and correct in every detail.</p>																
					TOHOKU STEEL CO., LTD. 23 Nishigaoka Murate-Cho Shibata-Gun Miyagi-Ken Japan					Chief of Quality Assurance Section 						

Lampiran 2
Sertifikat Material SUH 35

Customer: PT. FEDERAL NITTAN INDUSTRIES										TEST CERTIFICATE										Hitachi Metals, Ltd. Yasugi Works 2107-2, Yasugi-cho, Yasugi-shi, Shimane 692-8601 Japan																																																						
CASE No: 352										Report No: D160124172										Heat No: CM148										Date: Jan. 07, 2016										Page: 1/1																																		
Order No: 1000581702(01)										Material: SUH35										Size: RGT. 45X3900										Mass(kg): 399																																												
Condition: Solution Treated										Quantity(pcs.): 299										Our Ref No: 57-151-R5WC-01																																																						
Lot No: 9C1062										Spec No.: SAE S63008										3) Hardness (As Shipped)																																																						
1) Chemical Composition %										2) Heat Treatment										3) Hardness (As Shipped)																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Elements</th> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>NI</th> <th>CR</th> <th>N</th> </tr> <tr> <td>Spec.</td> <td>0.48</td> <td>MAX</td> <td>8.00</td> <td>MAX</td> <td>MAX</td> <td>3.25</td> <td>20.00</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-0.58</td> <td>0.35</td> <td>-10.00</td> <td>0.040</td> <td>0.030</td> <td>-4.50</td> <td>-22.00</td> <td>-0.50</td> </tr> <tr> <td>ladle</td> <td>0.56</td> <td>0.20</td> <td>8.52</td> <td>0.026</td> <td><0.001</td> <td>3.71</td> <td>21.13</td> <td>0.42</td> </tr> </table>										Elements	C	SI	MN	P	S	NI	CR	N	Spec.	0.48	MAX	8.00	MAX	MAX	3.25	20.00	0.35		-0.58	0.35	-10.00	0.040	0.030	-4.50	-22.00	-0.50	ladle	0.56	0.20	8.52	0.026	<0.001	3.71	21.13	0.42	Test Piece (HT1) ST.1050°C X 20min. WC AG.750°C X 1h AC										<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Spec.</th> <th>Result</th> </tr> <tr> <td>TP No. →</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Test Piece</td> <td>35-45 HRC</td> <td>43.5 43.7</td> </tr> </table>										Item	Spec.	Result	TP No. →	1	2	Test Piece	35-45 HRC	43.5 43.7
Elements	C	SI	MN	P	S	NI	CR	N																																																																		
Spec.	0.48	MAX	8.00	MAX	MAX	3.25	20.00	0.35																																																																		
	-0.58	0.35	-10.00	0.040	0.030	-4.50	-22.00	-0.50																																																																		
ladle	0.56	0.20	8.52	0.026	<0.001	3.71	21.13	0.42																																																																		
Item	Spec.	Result																																																																								
TP No. →	1	2																																																																								
Test Piece	35-45 HRC	43.5 43.7																																																																								
4) Hardness After Heat Treatment (HT1)										7) (Long.) Tensile Test Temp.: RT (HT1)										4) Grain Size																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Spec.</th> <th>Result</th> </tr> <tr> <td>TP No. →</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test Piece</td> <td>MIN30 HRC</td> <td>36.1</td> </tr> </table>										Item	Spec.	Result	TP No. →	1		Test Piece	MIN30 HRC	36.1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Spec.</th> <th>Result</th> </tr> <tr> <td>TP No. →</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yield Str.</td> <td>MIN560 N/mm2</td> <td>690</td> </tr> <tr> <td>0.2% offset</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>MIN880 N/mm2</td> <td>1130</td> </tr> <tr> <td>Elongation in 3.54D</td> <td>MIN8 %</td> <td>25.8</td> </tr> </table>										Item	Spec.	Result	TP No. →	1		Yield Str.	MIN560 N/mm2	690	0.2% offset			Tensile Strength	MIN880 N/mm2	1130	Elongation in 3.54D	MIN8 %	25.8	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Spec.</th> <th>Result</th> </tr> <tr> <td>TP No. →</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grain Size</td> <td>MIN6</td> <td>11.5</td> </tr> </table>										Item	Spec.	Result	TP No. →	1		Grain Size	MIN6	11.5									
Item	Spec.	Result																																																																								
TP No. →	1																																																																									
Test Piece	MIN30 HRC	36.1																																																																								
Item	Spec.	Result																																																																								
TP No. →	1																																																																									
Yield Str.	MIN560 N/mm2	690																																																																								
0.2% offset																																																																										
Tensile Strength	MIN880 N/mm2	1130																																																																								
Elongation in 3.54D	MIN8 %	25.8																																																																								
Item	Spec.	Result																																																																								
TP No. →	1																																																																									
Grain Size	MIN6	11.5																																																																								
Test Specimen: 4.0D*14.0GL										5) Non Metallic Inclusion										Test Method: ASTM E45-A																																																						
										<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Spec.</th> <th>Result</th> </tr> <tr> <td>TP No. →</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A(T)</td> <td>MAX2.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>A(H)</td> <td>MAX1.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>B(T)</td> <td>MAX3.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>B(H)</td> <td>MAX2.5</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>C(T)</td> <td>MAX3.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>C(H)</td> <td>MAX1.5</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>D(T)</td> <td>MAX2.5</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>D(H)</td> <td>MAX1.5</td> <td>0.0</td> </tr> </table>										Item	Spec.	Result	TP No. →	1		A(T)	MAX2.0	0.0	A(H)	MAX1.0	0.0	B(T)	MAX3.0	0.0	B(H)	MAX2.5	0.0	C(T)	MAX3.0	0.0	C(H)	MAX1.5	0.0	D(T)	MAX2.5	1.0	D(H)	MAX1.5	0.0																									
Item	Spec.	Result																																																																								
TP No. →	1																																																																									
A(T)	MAX2.0	0.0																																																																								
A(H)	MAX1.0	0.0																																																																								
B(T)	MAX3.0	0.0																																																																								
B(H)	MAX2.5	0.0																																																																								
C(T)	MAX3.0	0.0																																																																								
C(H)	MAX1.5	0.0																																																																								
D(T)	MAX2.5	1.0																																																																								
D(H)	MAX1.5	0.0																																																																								
Inspection Item										Dimensional Inspection : GOOD										Conforms To All Drawing and/or Specification Requirements. We hereby certify that the material described herein has been made and tested in accordance with the requirements of the purchase specification with satisfactory results.																																																						
Material Check : GOOD										Remark 1) Fracture Test: GOOD																																																																
QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT																																																																										

Lampiran 3

Distribusi Pengujian Kekerasan

1. Variasi kecepatan putar (v)

RPM	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2500	30.9	29.5	28.6	29.5	27.4	27.2	27	29.3	27.6	28	47	43.7	39.4	36.4	37.9	37	36.4	38.1	37.7	36.7	36.2
3000	34	34	34	34.1	32.3	33.2	33.1	30.4	29.7	33	50.8	44.4	41.2	38.8	38	38.9	40	40.8	40.1	38.7	38.6
3500	32	33.2	33.9	34.7	31.1	31.1	31	30.1	31.2	29.4	52.5	45	42.9	42.6	41	41.8	42	43	43	43.2	43.2
4000	32	33.8	28.8	30.3	31.3	28.9	30.5	32.1	32.6	34.7	53.3	48.3	47.3	42.3	42.7	42.7	42.6	41.6	40.7	40.4	40.3
4500	31.4	32	32.9	33.5	32.9	32.2	32.9	32	34	32	54.8	43.8	37.7	39.2	39.3	38.2	40	38.9	38	38.5	38.4

2. Variasi gaya gesek (kN)

F1	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	29.6	29.5	30.5	29.9	29.5	29.4	28.9	30.6	29.7	28.9	48.3	37	38.5	37.2	38.6	38.2	36.7	37.7	40.7	39.5	40.1
8	31.4	30.5	30.4	30.4	31.1	29.1	30.9	31.6	32.2	31.1	48.4	45.7	37.8	33.7	34.4	34.5	35.8	36.8	36.8	38.2	38.1
10	33	33	31.1	31	31.6	29.7	30.3	28.9	29.5	30.9	54.8	45.4	40	40.4	39.7	40.2	39.4	39.2	37.8	40.3	37.7
12	31	31.3	30.1	30.5	31.3	27.3	29.1	29.4	30.5	33.8	51.8	43.1	41.3	42.6	41.4	41.4	42.3	41	42.6	42.3	42.5
14	31.1	31.5	31.2	31	30.7	30.1	29.8	29.5	28.6	28.9	50.9	43.4	37.4	36.5	39.6	37.4	35.1	35.7	37	39.1	39.2

3. Variasi waktu gesek (detik)

T1	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.6	29.1	29.8	30	28.9	27.4	27.8	29.2	29.4	29.6	28.7	48.1	43.5	39	37.7	34.6	35.6	37	38.6	38.8	38.3	38.2
0.7	31.3	32	30.6	29.6	30.9	30.6	29.2	28.5	29.5	28.4	49.4	43.4	39.1	36.8	36.1	36.2	37.4	37.4	37.9	38.5	38.8
0.8	29.7	29.2	27.6	27.9	27.8	27.4	28.5	27.5	29.9	28.9	49.8	43.5	39.2	36.4	36.3	38.3	38.1	36.6	38	38.1	38
0.9	30.9	30.9	29.1	28.2	28	27.7	27.5	27.3	29.3	29.3	50.3	44.3	39.4	37.3	37.3	38.5	38.6	37.4	36.7	37	37
1	32.9	32.7	32.3	31.9	31.4	30.3	31.9	33.1	32.3	30.9	54.8	43.5	38.3	37	37	38.1	39.2	39.3	39.4	36.8	37

Lampiran 4

Konversi Pengujian impak

RPM	Energi (kpm)	Energi (j)	Kekuatan impak j/m2	Kekuatan impak kj/m2
2500	0.15	1.4709975	294199.5	294.1995
3000	0.17	1.6671305	333426.1	333.4261
3500	0.18	1.765197	353039.4	353.0394
4000	0.2	1.96133	392266	392.266
4500	0.3	2.941995	588399	588.399

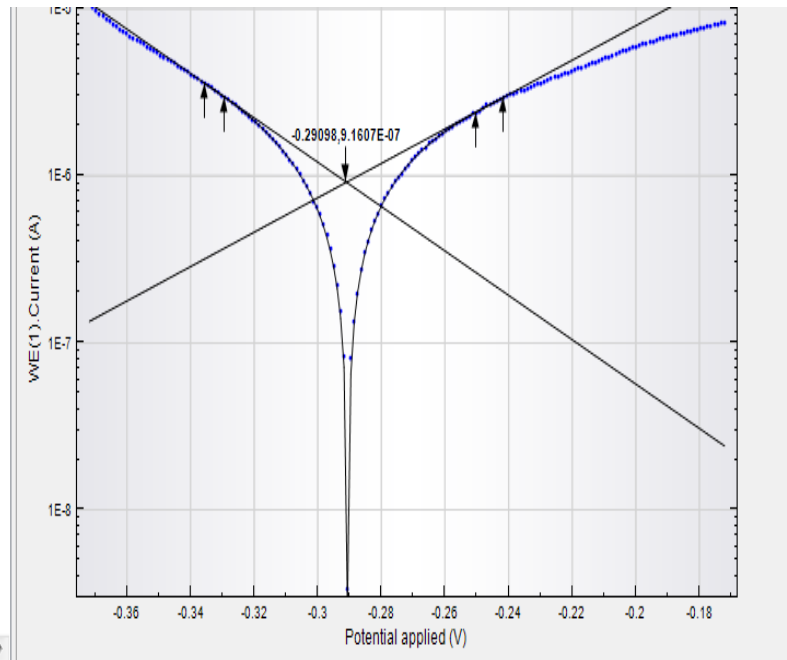
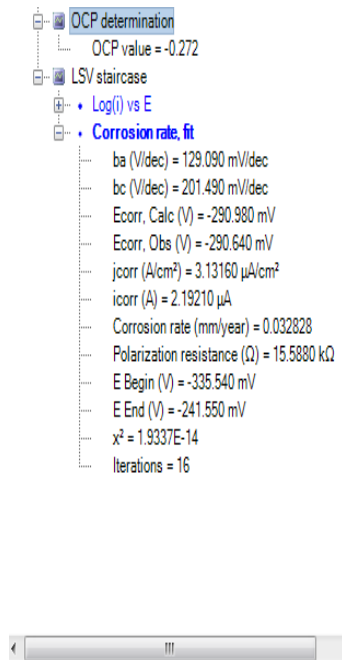
F1	Energi (kpm)	Energi (j)	Kekuatan impak j/m2	Kekuatan impak kj/m2
6	0.15	1.4709975	294199.5	294.1995
8	0.2	1.96133	392266	392.266
10	0.3	2.941995	588399	588.399
12	0.25	2.4516625	490332.5	490.3325
14	0.2	1.96133	392266	392.266

T1	Energi (kpm)	Energi (j)	Kekuatan impak j/m2	Kekuatan impak kj/m2
0.6	0.2	1.96133	392266	392.266
0.7	0.12	1.176798	235359.6	235.3596
0.8	0.21	2.0593965	411879.3	411.8793
0.9	0.25	2.4516625	490332.5	490.3325
1	0.3	2.941995	588399	588.399

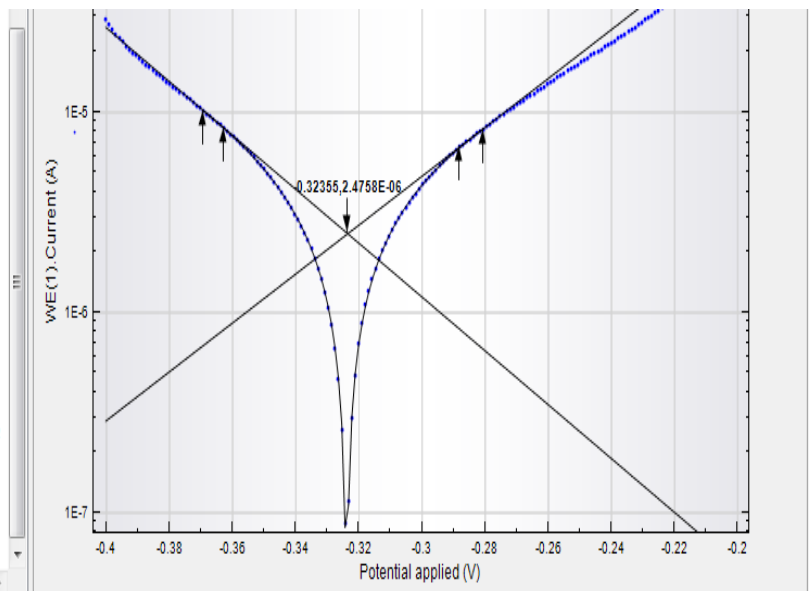
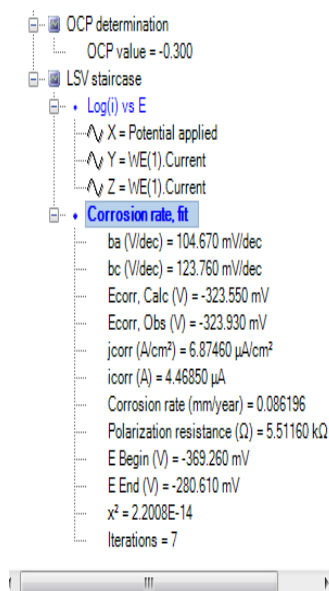
Lampiran 5

Hasil Pengujian Laju Korosi

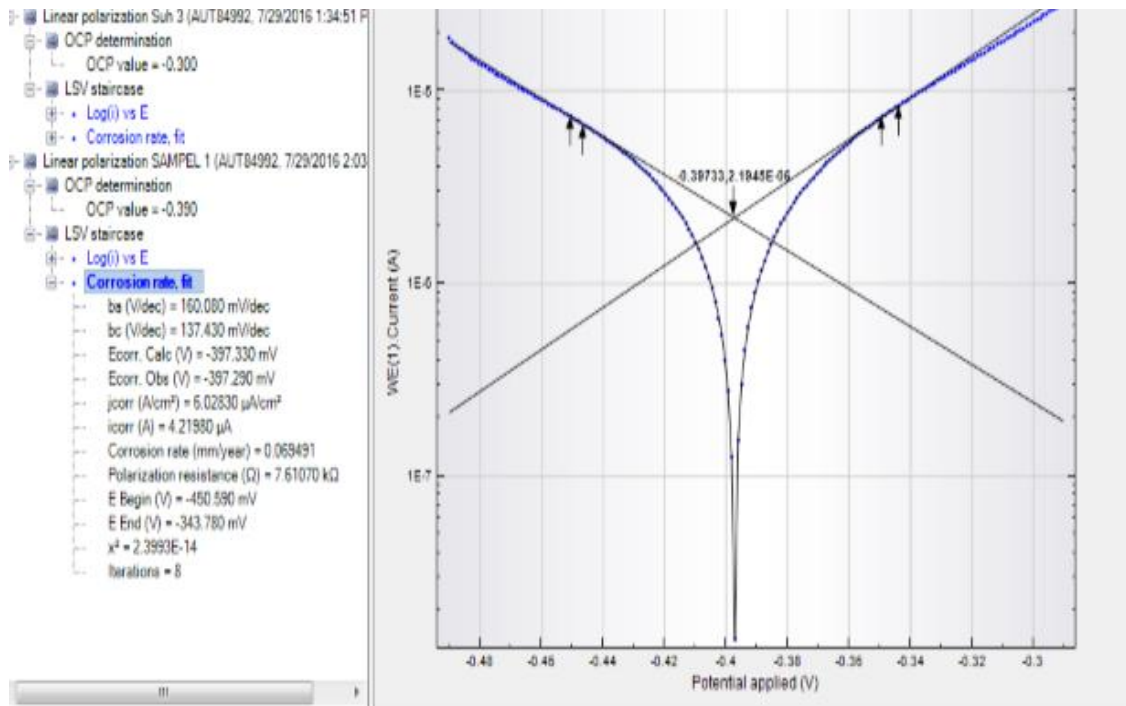
Baja SUH 35



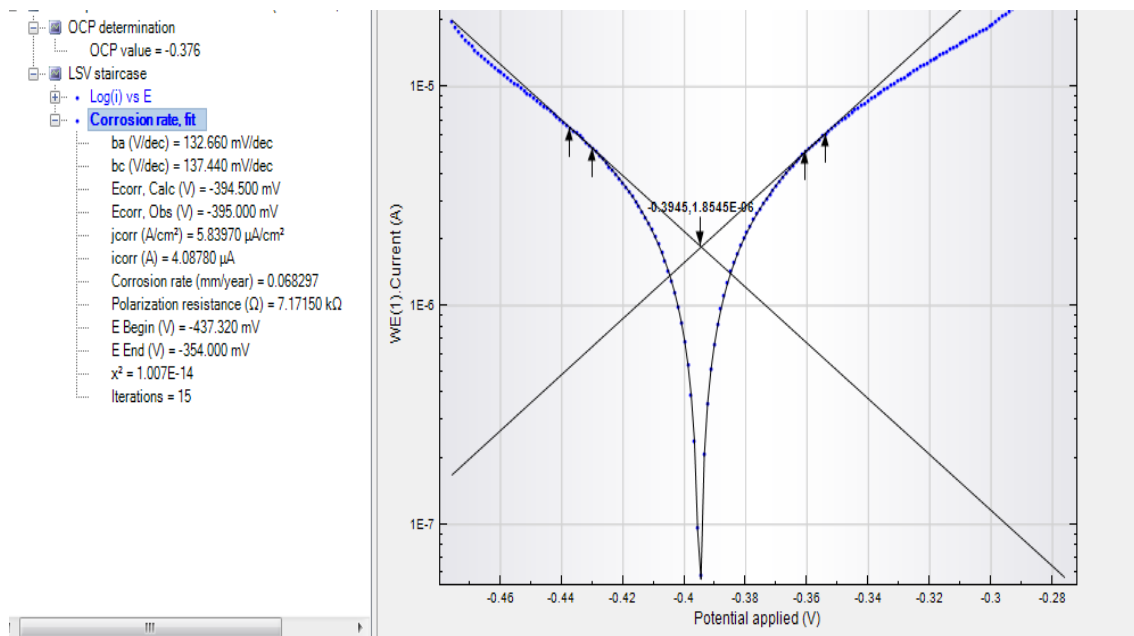
Baja SUH 3



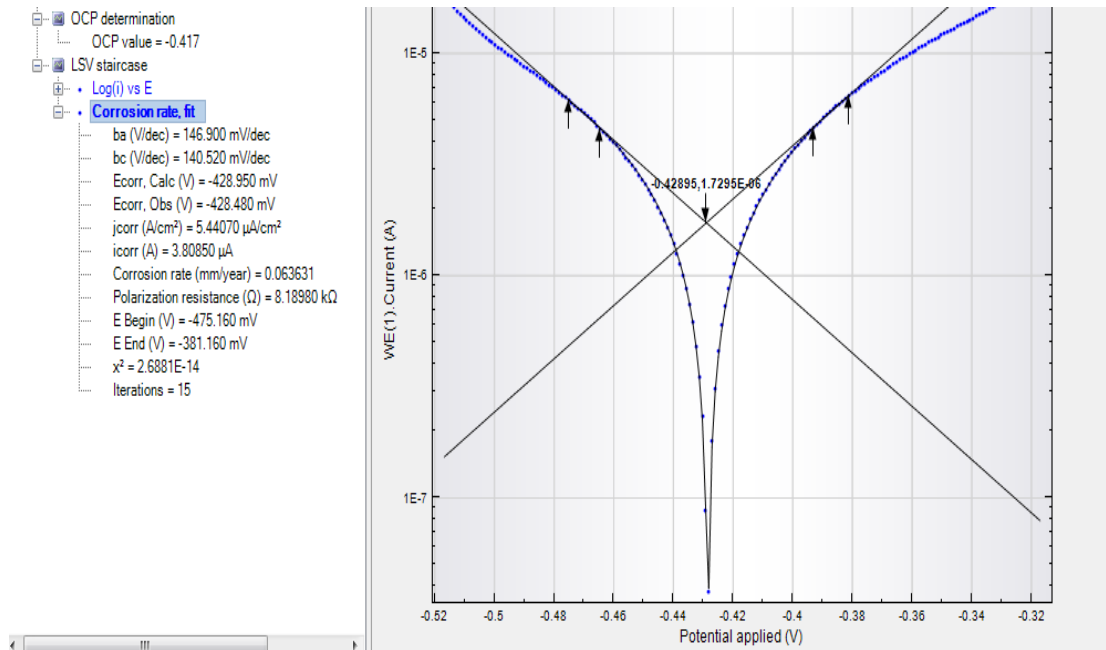
Kecepatan Putar 2500 rpm



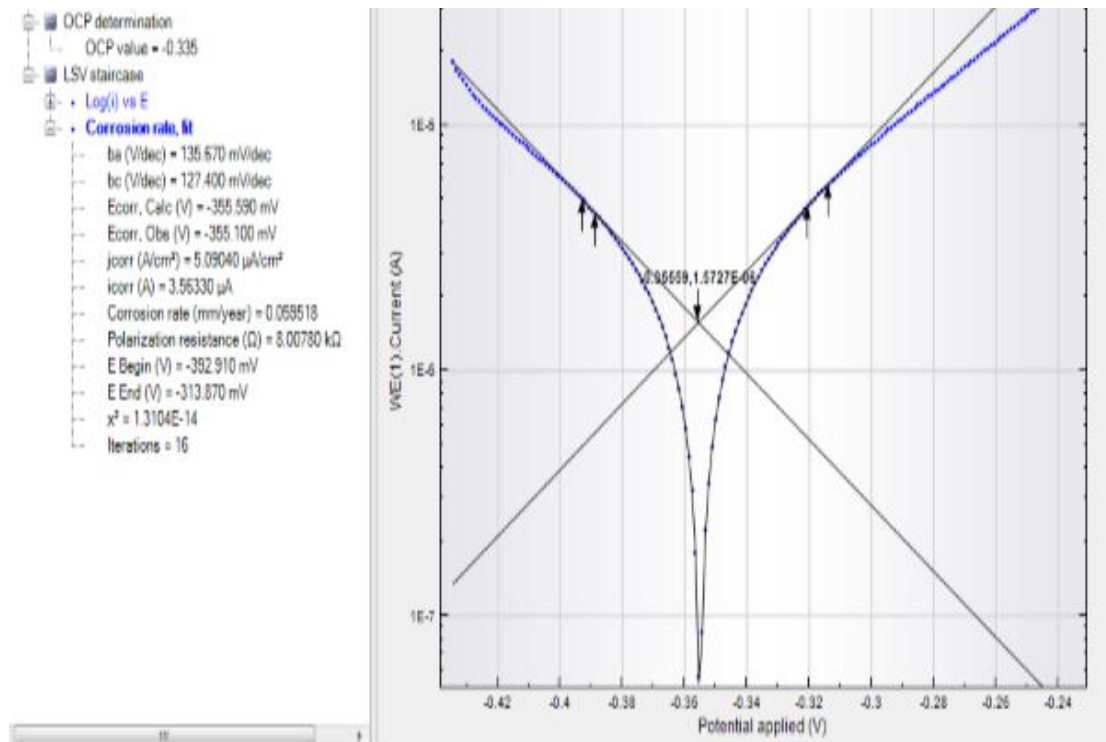
Kecepatan Putar 3000 rpm



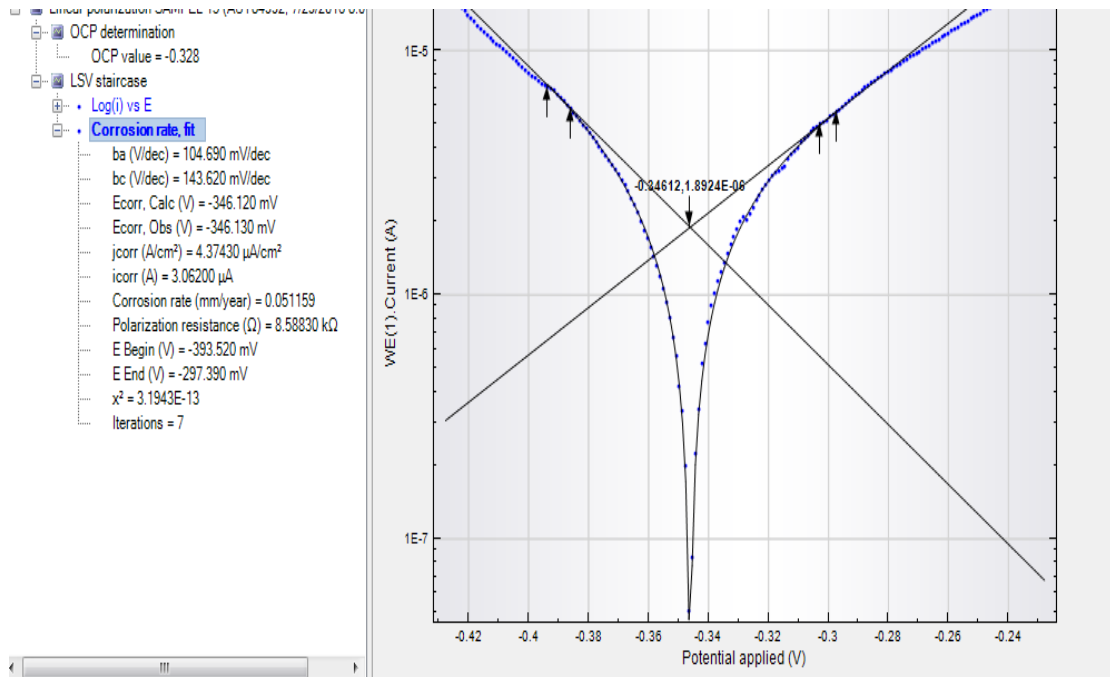
Kecepatan Putar 3500 rpm



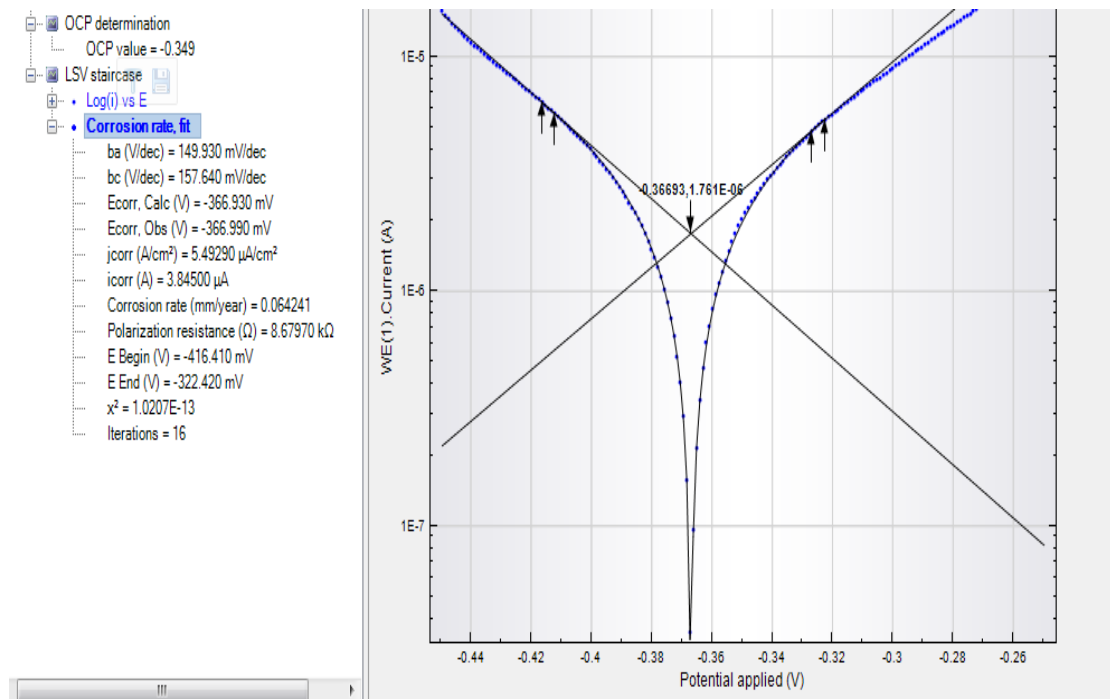
Kecepatan Putar 4000 rpm



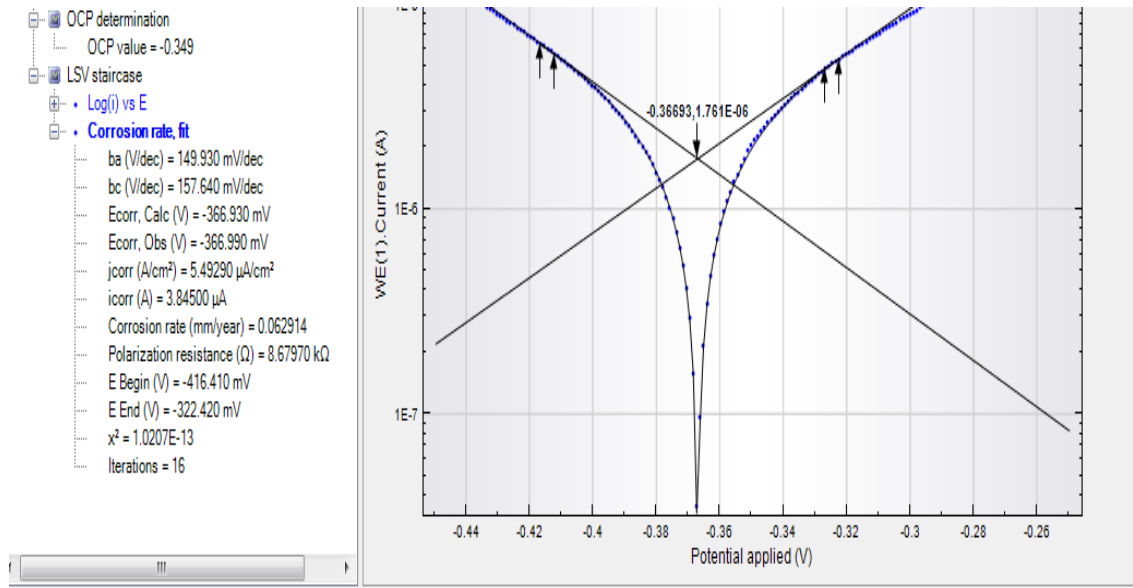
Kecepatan Putar 4500 rpm



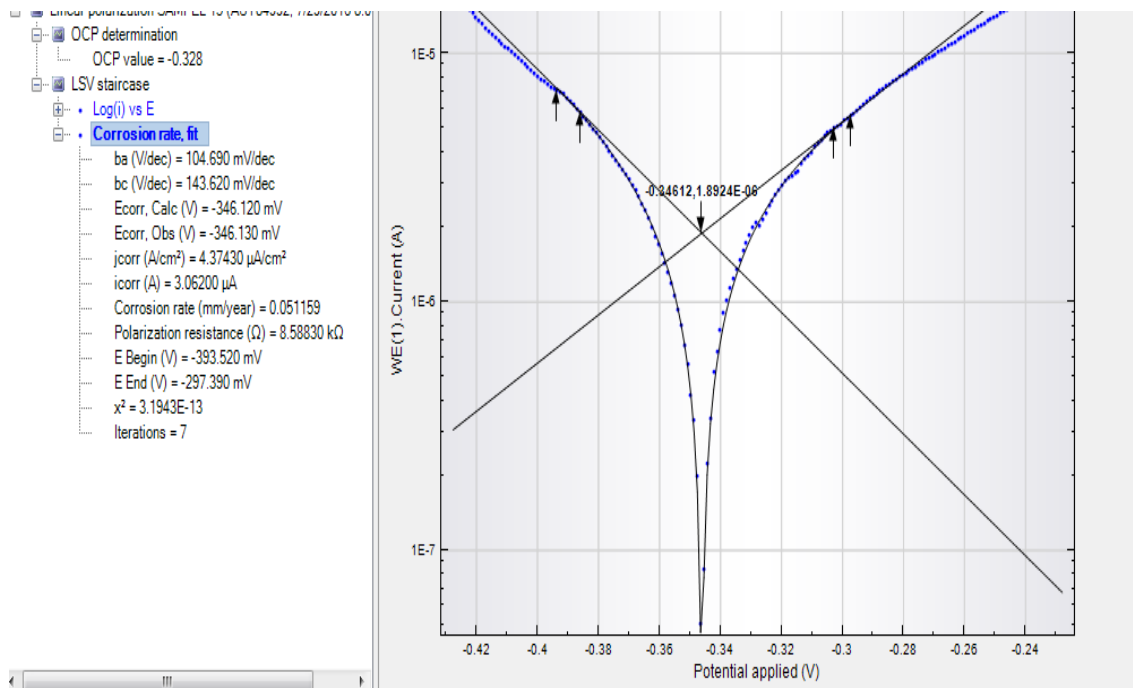
Gaya gesek 6 kN



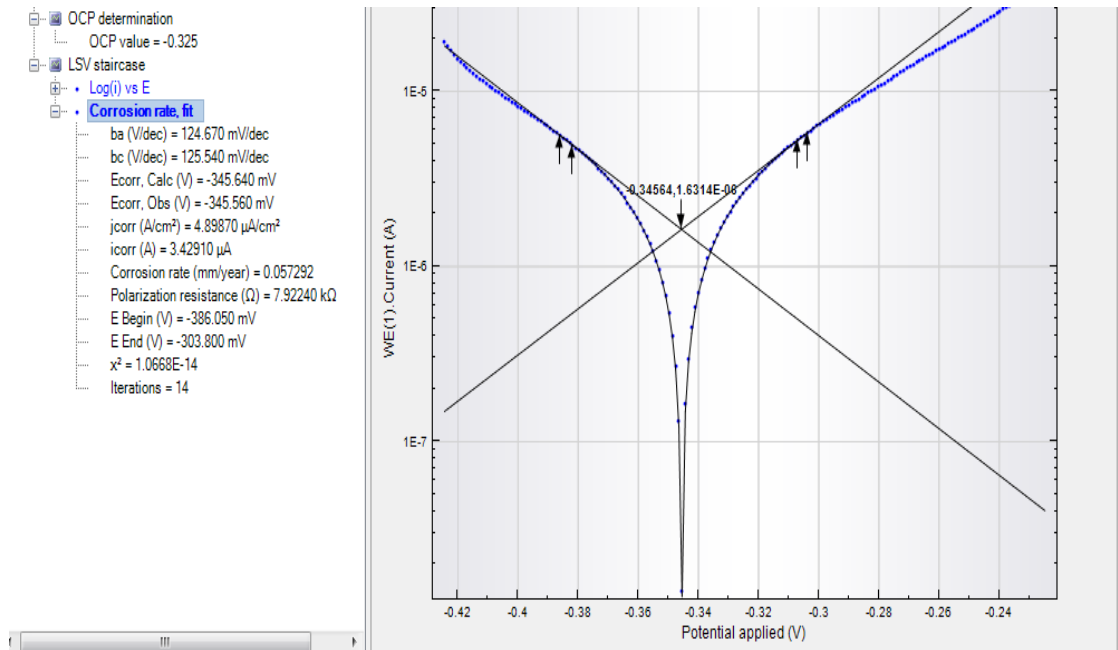
Gaya gesek 8 kN



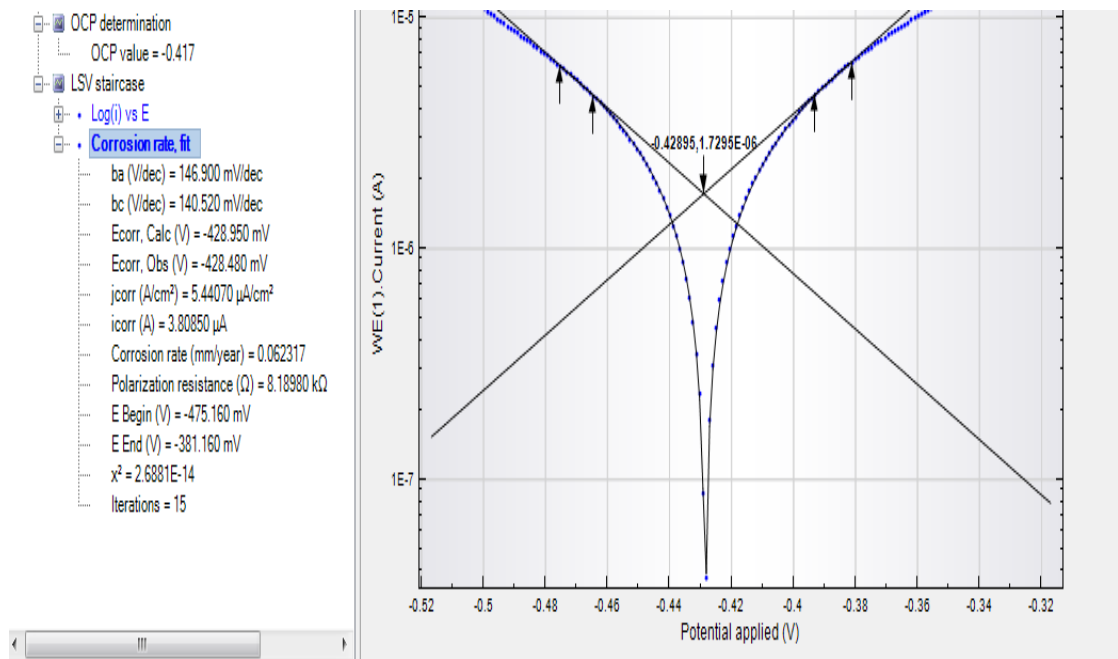
Gaya gesek 10 kN



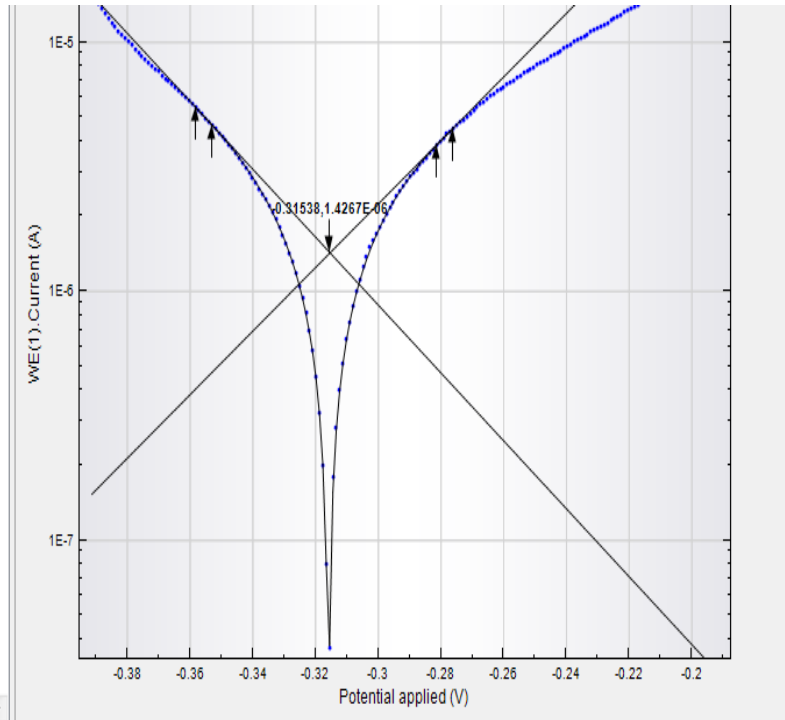
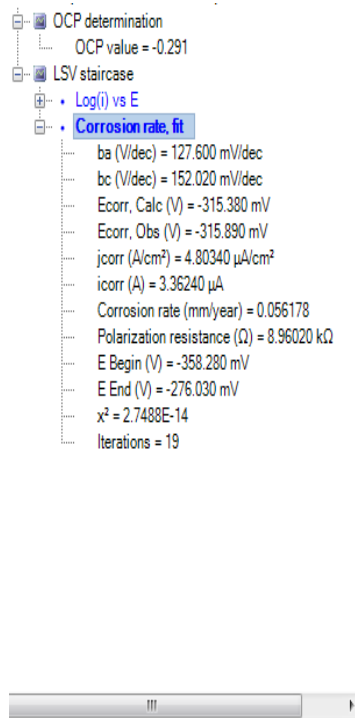
Gaya gesek 12 kN



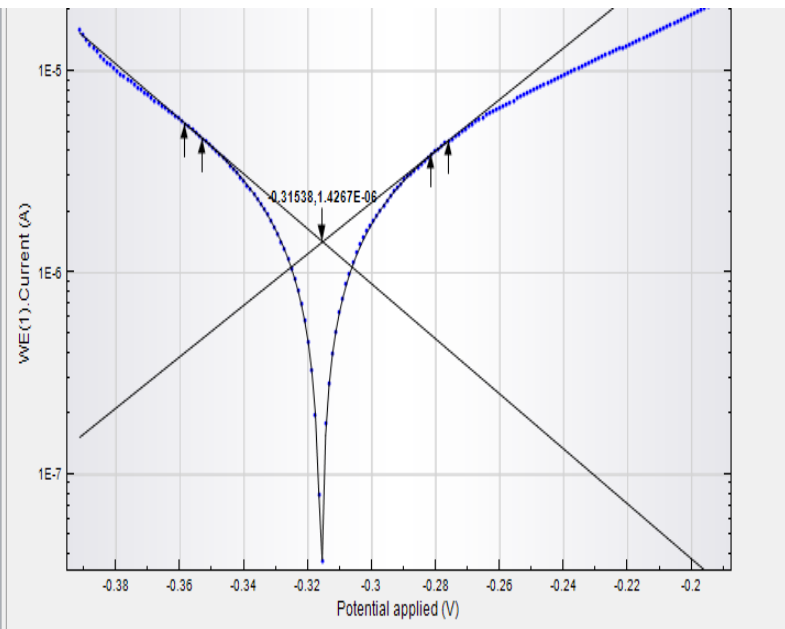
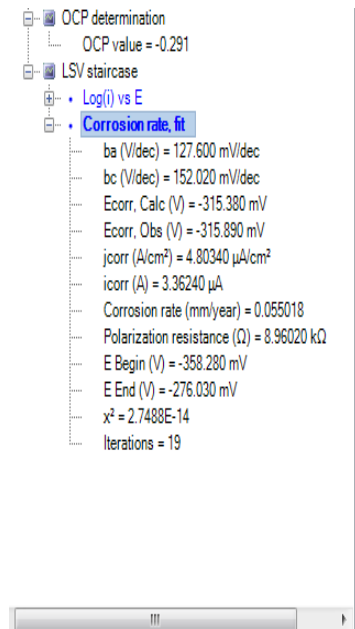
Gaya gesek 14 kN



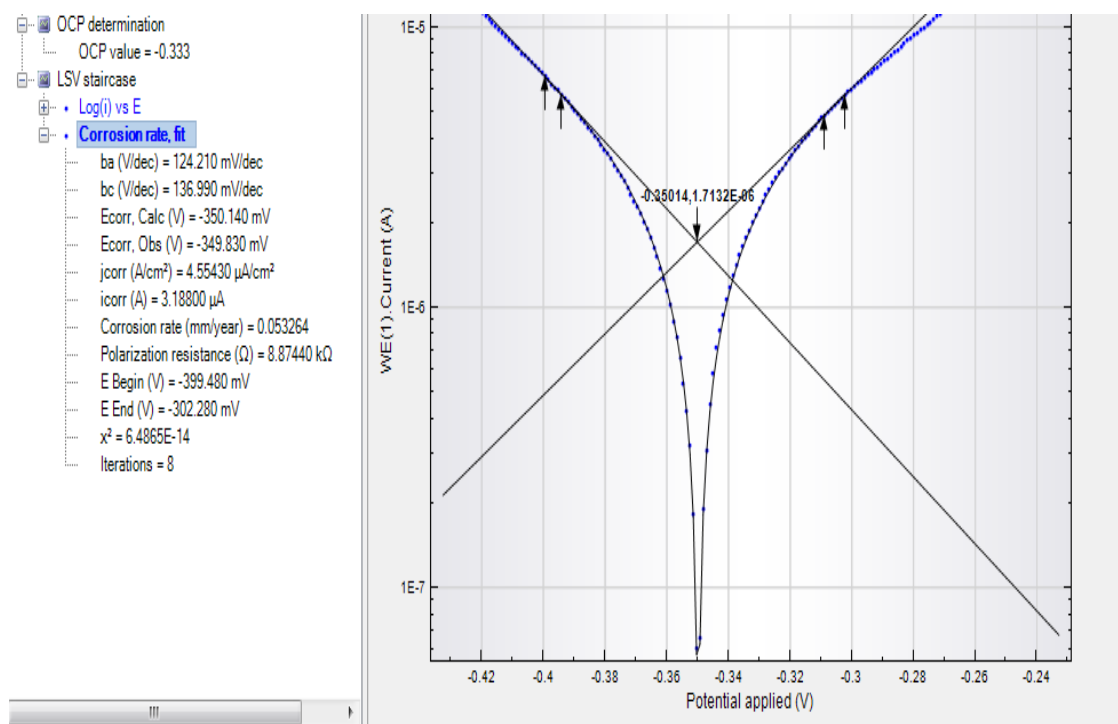
Waktu gesek 0.6 detik



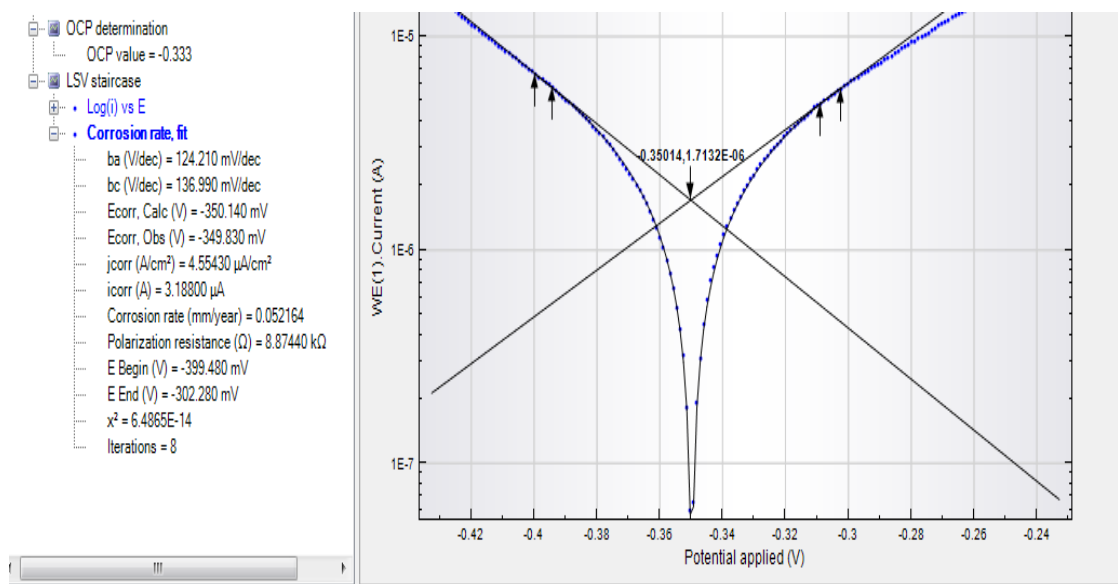
Waktu gesek 0.7 detik



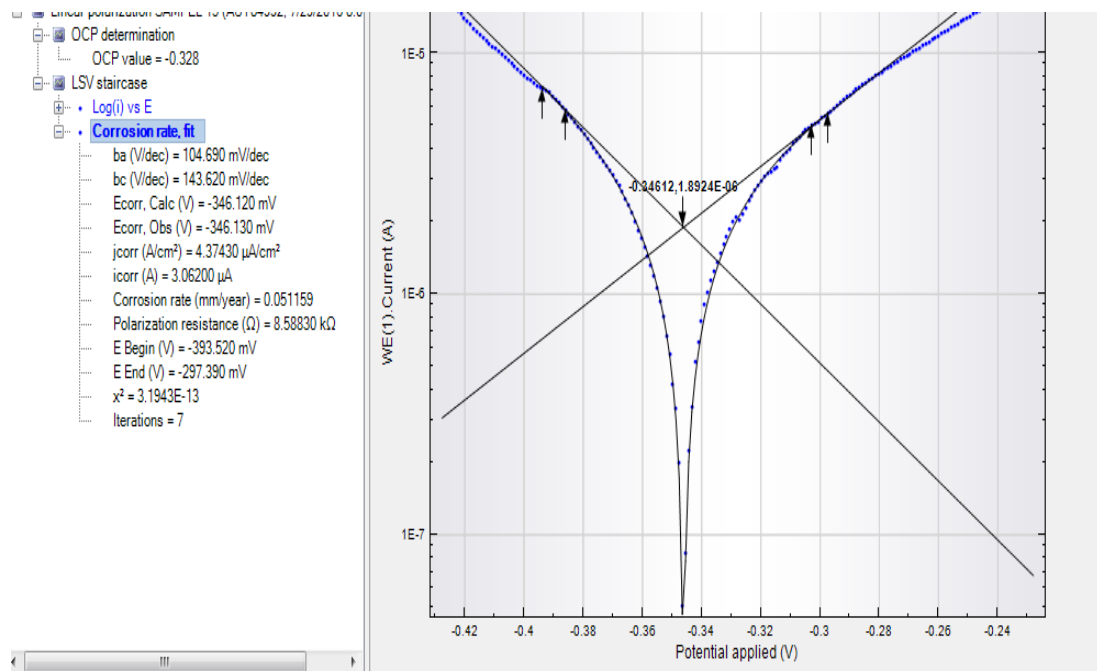
Waktu gesek 0.8 detik



Waktu gesek 0.9 detik



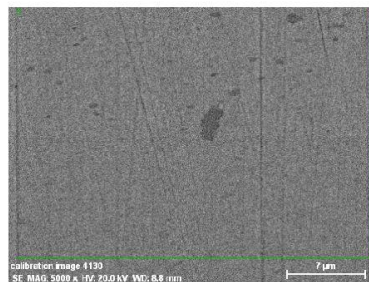
Waktu gesek 1 detik



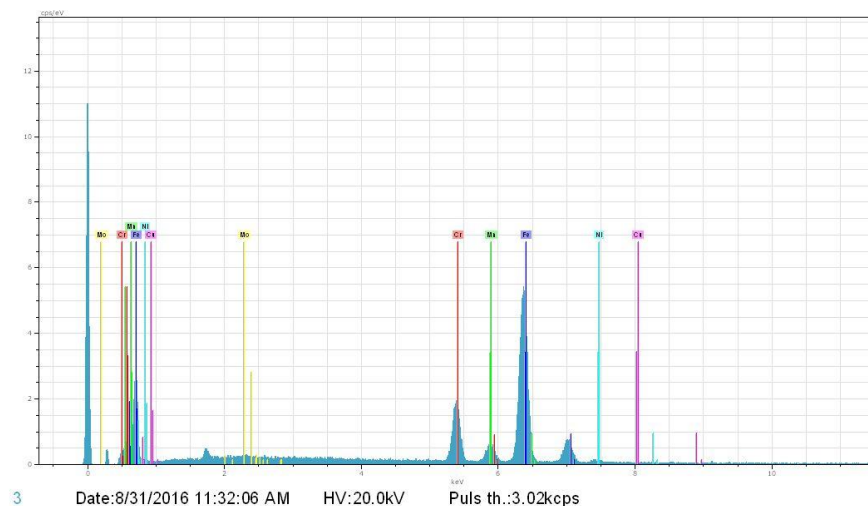
Lampiran 6

Hasil *Scanning elektron mikroscope* – EDX Penyambungan kecepatan putar 2500 rpm

Sampel 1 Sambungan



calibration image 4130 Date:8/31/2016
11:29:52 AM Image size:512 x
384 Mag:5000x HV:20.0kV

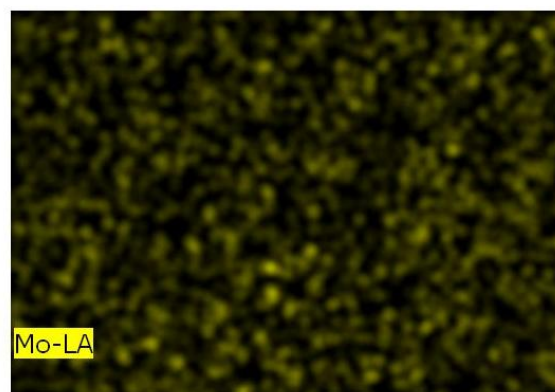
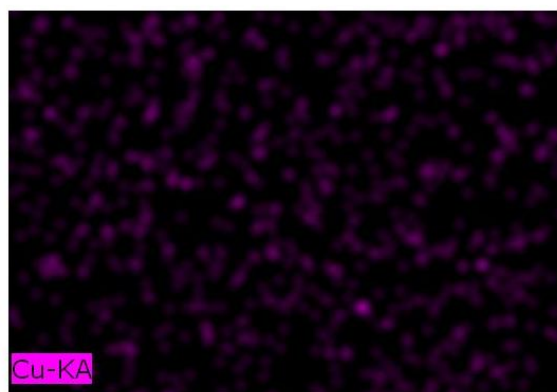
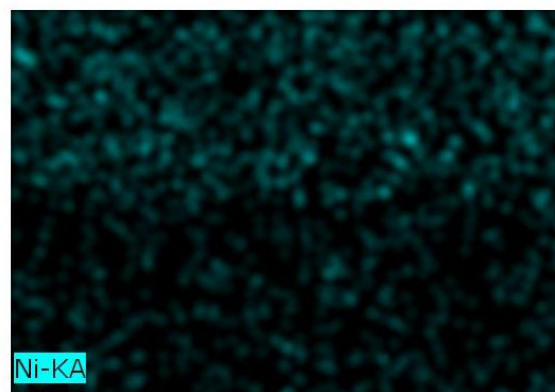
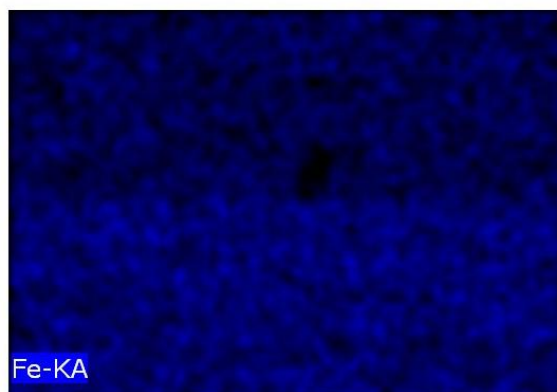
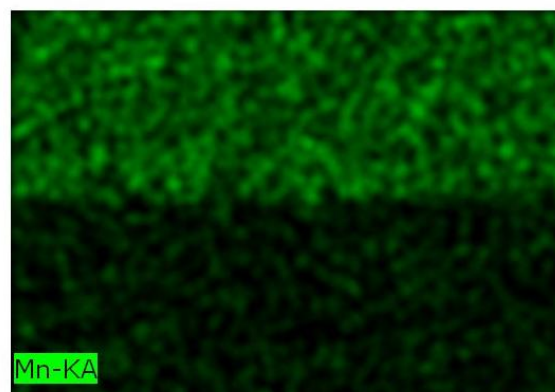
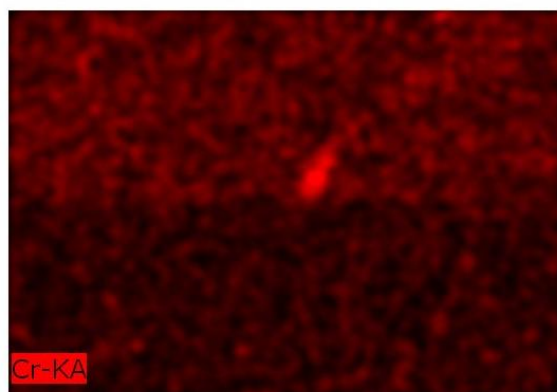


3 Date:8/31/2016 11:32:06 AM HV:20.0kV Puls th.:3.02keps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Cr	24	K-series	13.25	14.00	14.99	0.4
Mn	25	K-series	4.29	4.54	4.60	0.2
Fe	26	K-series	72.99	77.12	76.89	2.0
Ni	28	K-series	1.89	2.00	1.90	0.1
Cu	29	K-series	0.87	0.92	0.80	0.1
Mo	42	L-series	1.35	1.43	0.83	0.1
Total:			94.65	100.00	100.00	

8/31/2016

3. Page



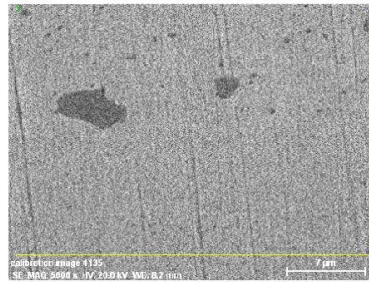
Cr-KA, Mn-KA, Fe-KA, Ni-KA, Cu-KA, Mo-LA Date: 8/31/2016 11:32:01 AM
 Image size: 488 x 342
 Mag: 5000x
 HV: 20.0kV

Lampiran 7

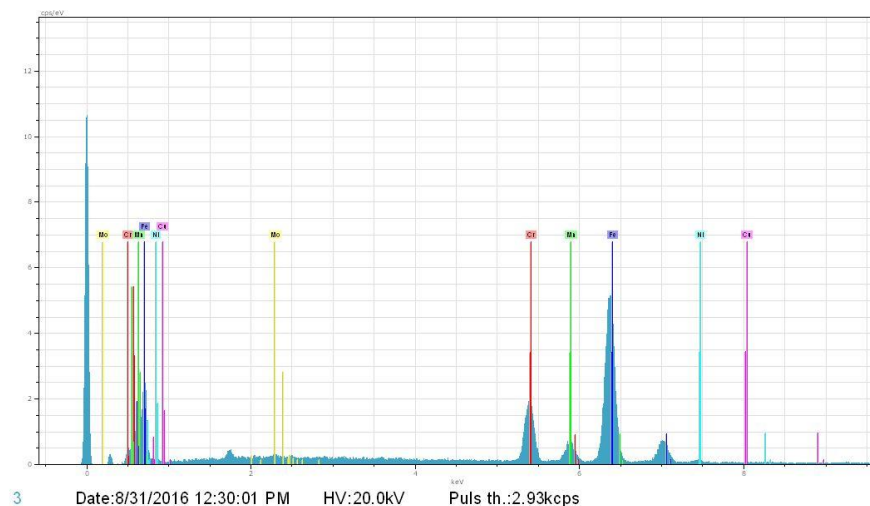
Hasil *Scanning elektron mikroskop* – EDX

Penyambungan kecepatan putar 4500 rpm

Sampel 5 Sambungan



calibration image 4135 Date: 8/31/2016
12:29:48 PM Image size: 512 x
384 Mag: 5000x HV: 20.0kV

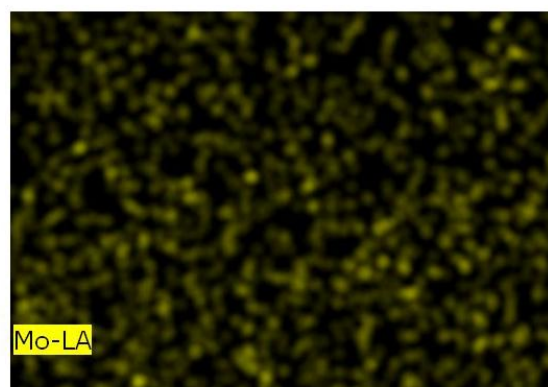
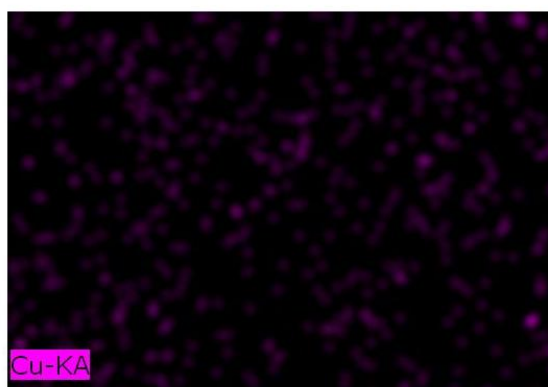
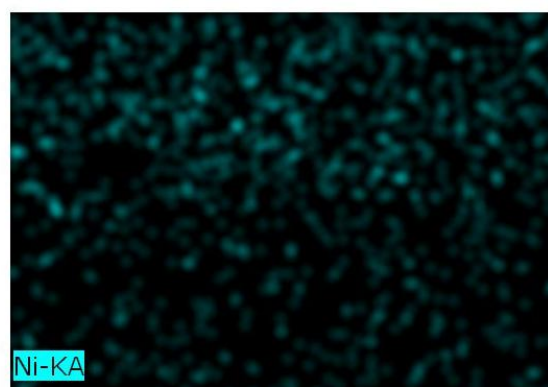
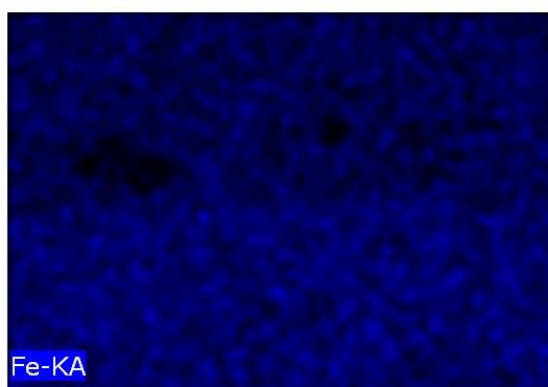
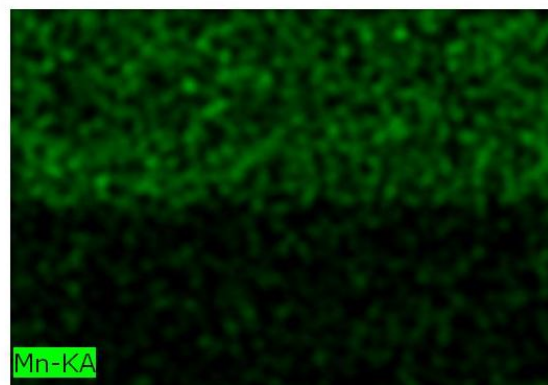
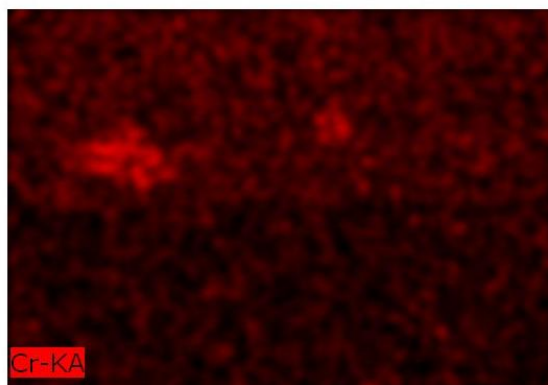


3 Date: 8/31/2016 12:30:01 PM HV: 20.0kV Puls th.: 2.93kcp/s

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Cr	24	K-series	14.07	14.77	15.82	0.5
Mn	25	K-series	4.71	4.94	5.01	0.3
Fe	26	K-series	72.11	75.71	75.47	2.0
Ni	28	K-series	1.83	1.92	1.82	0.1
Cu	29	K-series	1.08	1.13	0.99	0.1
Mo	42	L-series	1.46	1.53	0.89	0.1
Total:			95.24	100.00	100.00	

8/31/2016

12. Page



Cr-KA, Mn-KA, Fe-KA, Ni-KA, Cu-KA, Mo-LA Date: 8/31/2016 12:29:44 PM
 Image size: 488 x 342
 Mag: 5000x
 HV: 20.0kV

BIODATA PENULIS



Ali Sai'in, dilahirkan di Sumuragung, Kecamatan Baureno, Kabupaten Bojonegoro pada tanggal 1 Juni 1991, penulis adalah putra ke tiga dari pasangan Bapak H. Saepan dan Ibu Hj. Masri. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 1 Sumuragung, lulus pada tahun 2003. Pendidikan menengah pertama ditempuh di MT.s N Model Babat, lulus pada tahun 2006. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA N 1 Babat, lulus pada tahun 2009. Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang (UM). Gelar Sarjana Pendidikan di Jurusan Teknik Mesin diperoleh setelah menamatkan pendidikannya pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tepatnya di Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur. Saat ini penulis mempunyai keinginan untuk mengembangkan hasil dari tesisnya menjadi penelitian-penelitian lanjut dibidang proses manufaktur dan metalurgi manufaktur.